Grundwasserfließvorgänge im klüftigen und porösen Medium des mittleren Buntsandsteins im Saarland

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doktors

der Naturwissenschaften

der

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der Eberhard-Karls-Universität

zu Tübingen

vorgelegt

von

Klaus-Peter Seiler

aus Darmstadt

1968

9812

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547604_0104

Dissertations-Druck · Werner Blasaditsch · 8900 Augsburg · Annastraße 2

Grundwasserfließvorgänge im klüftigen und porösen Medium des mittleren Buntsandsteins im Saarland.

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der
Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt

von

Klaus-Peter Seiler
aus Darmstadt

1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 27.6.1968

Dekan: Prof. Dr. H. Blume
1. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Einsele
2. Berichterstatter: Prof. Dr. R. Schönenberg

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort 6

Einleitung 8

A. G E O L O G I S C H E R T E I L 11

1. Gliederung des mittleren Buntsandsteins 11

1.1 Trifelsschichten 12

1.2 Rehbergschichten 13

1.3 Karlstalschichten 14

2. Schichtlagerung und Tektonik 17

2.1 Tektonische Störungen 19

2.2 Zur Ausbildung der Störungen und deren hydrologische Bedeutung 25

3. Synsedimentäre Tektonik im mittleren Buntsandstein des Arbeitsgebiets 26

B. G E O H Y D R O L O G I S C H E R T E I L 29

1. Begriffe und Methoden 29

1.1 Verwendete hydrologische Begriffe 29

1.2 Klufthäufigkeitsmessungen 30

1.3 Verdünnungsversuche mit Uranin 32

1.4 Direkte Färbversuche 35

1.41 Ergebnisse der direkten Färbversuche 35

2. Grundwasserzirkulation im Kluft- und Porenraum des Saarländischen mittleren Buntsandsteins 39

2.1 Spezifische Ergiebigkeiten und Brunnencharakteristiken 40

2.2 Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ergiebigkeiten 42

2.3 Die vertikale Reichweite der Klüfte in den Bohrungen 46

2.4 Zur Frage des zunehmenden artesischen Auslaufs mit fortschreitender Bohrlochtiefe . . . 50

2.5 Die Basis des Wasserträgers 53

3. Der poröse Buntsandstein als Grundwasserspeicher 54

3.1 Der unterirdische Abfluß im Scheidtertal . . . 55

3.2 Grundwasserstandsganglinien und -Speicherung im Raum St. Ingbert, Scheidtertal 58

4. Häufigkeit des Auftretens von Bohrungen, die Klüfte angetroffen haben 59

Seite

5. Verhalten der Fließgeschwindigkeiten im klüftigen und porösen Medium in Abhängigkeit von der Bohrlochtiefe und der Fördermenge 63

5.1 Zur Frage des Auftretens turbulenter Strömung im klüftigen Medium 67

6. Inhomogenitäten im mittleren Buntsandstein als Grundwasserträger 71

6.1 Grundwasserstockwerke im mittleren Buntsandstein 71

6.2 Die Gliederung des Grundwasserträgers durch die Klüftigkeit 74

6.21 Orientierung der Klüfte senkrecht zu den Grundwassergleichen 75

6.22 Orientierung der Klüfte parallel zu den Grundwassergleichen 78

6.3 Inhomogenitäten, die durch Störungen bedingt sind 78

6.4 Der mittlere Buntsandstein als Grundwasserträger in großräumiger Sicht 80

7. Nutzbares Hohlraumvolumen im klüftigen und porösen Medium des mittleren Buntsandsteins . 84

7.1 Nutzbares Porenvolumen des Festgesteins . . 84

7.2 Kluftvolumen des mittleren Buntsandsteins . 86

C. P R A K T I S C H E F O L G E R U N G E N 88

1. Grundwassergleichenpläne und ihre Aussage 88

2. Zur Frage der Wirksamkeit der Verrohrung gegen eindringendes Oberflächenwasser 89

3. Zur Frage des Grundwasserschutzes im mittleren Buntsandstein des Saarlands 91

4. Zur Frage der Grundwassererschließung im mittleren Buntsandstein 92

5. Grundwassererschließungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet des Scheidtertals und Wieschbachtals . . . 95

Zusammenfassung 99

Literaturverzeichnis 111

Lebenslauf 115

Vorwort

Im Rahmen eines größeren geohydrologischen Untersuchungsprogramms in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes wurde mir als Dissertationsthema ein Teilgebiet zugewiesen, von dem ausgehend eine spezielle hydrogeologische Fragestellung auch auf die übrigen Arbeitsgebiete zu übertragen war. Mein Dank richtet sich daher an die Herrn Regierungsdirektor Liebschner und Oberregierungsbaurat Wagner von der saarländischen Wasserwirtschaftsbehörde und speziell an meinen verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Einsele, die durch ein reiches Unterlagenmaterial, ihre persönlichen Erfahrungen und die finanzielle Unterstützung den Grundstein zu dieser Arbeit legten. Nicht zuletzt führten die stetigen Diskussionen mit meinen Kollegen, den Herrn Arbab, Heitele und Klock, dazu, spezielle Fragen zu präzisieren und die Ergebnisse in den allgemeinen Rahmen zu stellen; auch ihnen sei besonders gedankt.

Herrn Dr. G. Kneuper, dem Leiter der Geologischen Abteilung der Saarbergwerke, darf ich in gleicher Weise für all die technischen Hilfestellungen und den Einblick in die Unterlagen seiner Abteilung danken. - Schließlich konnte auf dem reichen Unterlagenmaterial der Wasserabteilung der Saarbergwerke, der saarländischen Bohrfirmen, der Deutschen Bundesbahn und der einzelnen Stadtwerke die vorliegende Arbeit aufgebaut werden; mein spezieller Dank gilt unter ihnen den Saarbergwerken und Herrn Wirth von den Stadtwerken Neunkirchen,

Alle genannten Herrn und Institutionen machten es möglich, das bislang nur von DRUMM (1942) und SEMMLER (1940, 1955) bearbeitete und in reichem Umfang vorhandene Material mit einer Reihe unveröffentlichter Unterlagen zugänglich zu machen. Daneben wurde sehr starker Wert auf geologische Geländearbeiten gelegt, um die allgemein hydrogeologischen Ergebnisse in den geologischen Rahmen einzufügen.

Meine Untersuchungsergebnisse sind in einen allgemeinen und einen speziellen Teil aufgeteilt. Der allgemeine Teil, der sich bevorzugt mit Fragen der Grundwasserneubildung beschäftigt, erscheint im Rahmen einer gemeinsamen Arbeit:

EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAB, C., HEITELE, H., KLOCK, M., SEILER, K.-P.:

Geohydrologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes.
Allgemeiner Teil. Neubildung und Speicherung von Grundwasser. -
Manuskript, 121 Seiten, Tübingen 1968.

Der hier vorgelegte spezielle Teil baut selbstverständlich auch auf den allgemeinen Untersuchungen auf.

Einleitung

Das eigentliche Arbeitsgebiet schließt sich unmittelbar östlich Saarbrücken an und umfaßt die oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete der Quell- und Wasserfassungen des Scheidterbachs, Grumbachs, Nag- oder Wieschbachs und untergeordnet des Fechinger-, Eschringer-, oder Saarbachs. Alle vier Täler erstrecken sich von Saarbrücken-Brebach in der SW-NE-Richtung, also etwa parallel zum Saarbrücker Hauptsattel; sie alle entwässern von NE nach SW, der Fechingerbach in seinem Unterlauf von E nach W, zur Saar hin (Abb. 1). - Topographisch liegen die vier Bäche auf der gleichen mittleren Höhe von ca. 220 m ü.NN.; geologisch gesehen durchziehen sie von NW nach SE immer jüngere Schichten; der Scheidterbach liegt hauptsächlich in den Trifels- und unteren Karlstalschichten, der Grumbach in den unteren und oberen Karlstalschichten, der Wieschbach in den mittleren und oberen Karlstalschichten sowie im oberen Buntsandstein, und der Fechingerbach schneidet sich in den oberen Buntsandstein und unteren Muschelkalk ein.

Jeweils von NE nach SW gesehen, liegen im Scheidtertal die Wasserwerke Spieser-Mühle mit 17 Förder- und 21 Beobachtungsbohrungen, St. Ingbert mit 7 Bohrungen, die Industriebohrungen Rohrbach - St. Ingbert, die Wasserwerke Rentrisch (Stadtwerke Saarbrücken) mit 15 Bohrungen, Sulzbach mit 3 Bohrungen und Scheidt (Stadtwerke Dudweiler) mit 9 Bohrungen; im Grumbachtal ein Wasserwerk der Amtswerke Brebach mit 3 Bohrungen und im Wieschbachtal die Wasserwerke Ensheim mit 2 Bohrungen und der Amtswerke Brebach mit 5 Bohrungen. Im Fechingerbachtal liegen hingegen nur noch einzelne Gemeindebohrungen.

Die abnehmende Häufigkeit der Bohrungen mit Annäherung an den Muschelkalk läßt bereits erkennen, daß für eine großräumige Grundwassergewinnung in erster Linie der mittlere Buntsandstein aufgesucht wird, da er hygienisch und bakteriologisch einwandfreies Grundwasser zu liefern vermag, was im

oberen Buntsandstein und Muschelkalk kaum gewährleistet ist. Die vorliegenden Untersuchungen beziehen sich daher nur auf Fragen der Grundwasserzirkulation im mittleren Buntsandstein.

Für das Arbeitsgebiet liegen die langjährigen Niederschlagsmittel (1891 - 1930) im SW von den Meßstationen

St. Arnual (190 m ü.NN.; Jahr: 786 mm,
Winterhalbjahr 380 mm,
Sommerhalbjahr 406 mm) und

Bischmisheim (310 m ü.NN.; Jahr: 786 mm,
Winterhalbjahr 371 mm,
Sommerhalbjahr 415 mm) und

im NE von der Spiesermühle (240 m ü.NN.;
Jahr 896 mm,
Winterhalbjahr 455 mm,
Sommerhalbjahr 441 mm)

vor. Offensichtlich nimmt die Niederschlagshöhe mit Annäherung an den Saarbrücker Hauptsattel zu, der hier als morphologisch scharfe Rippe zutage tritt; dies kann auch den langjährigen Niederschlagsmitteln von Heinitz (290 m ü.NN.; 915 mm) und Neunkirchen (293 m ü.NN.; 879 mm), die nahe der Meßstation Spieser Mühle liegen, entnommen werden.

Gegen Ende der geohydrologischen Arbeiten im Saarland wurde noch das Gewinnungsgebiet Wellesweiler der Stadtwerke Neunkirchen für Fragen der Grundwassererschließung und -Fließvorgänge mit einbezogen; diese Untersuchungen erfolgten gemeinsam mit meinen Studienkollegen, Herrn Heitele und Klock.

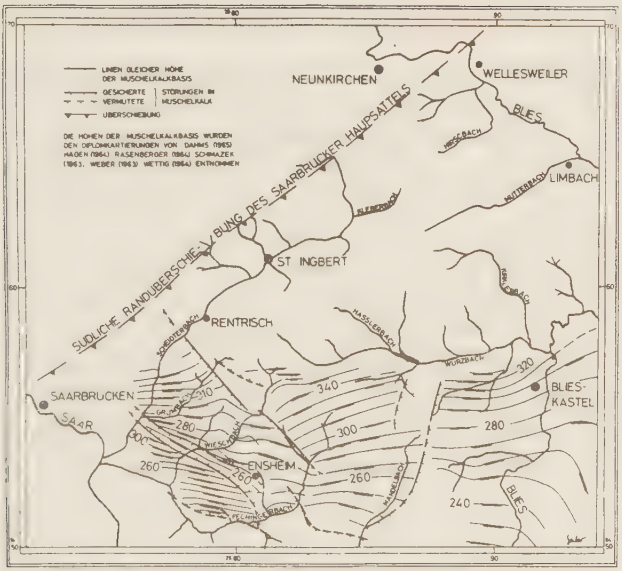

Abb: 1 Lagerungsverhältnisse der Muschelkalkbasis zwischen Saar und Blies; konstruiert anhand der Muschelkalkkartierungen der Saarbergwerke.

A. GEOLOGISCHER TEIL

Die geologischen Arbeiten dienten dazu, im oberirdischen Einzugsgebiet der Wasserfassungen des Scheidter- und Wieschbachtals einen Überblick über die Ausbildung und Tektonik des mittleren Buntsandsteins zu gewinnen. Er ist im Arbeitsgebiet zwischen Rohrbach und Hassel 380 m, an der Autobahnausfahrt St. Ingbert West 360 m und am Leinpfad, südlich Saarbrücken rund 340 m mächtig (nach Bohrunterlagen der Saarbergwerke).

Für den mittleren Buntsandstein lagen bislang nur einzelne Gliederungen vor. So haben die bayrischen Kartierungen (1 : 200 000) die pfälzer Buntsandsteingliederung bis in den Raum St. Ingbert hinein nachgewiesen. DRUMM (1942) gliedert das Profil der Tiefbohrung Lautzkirchen in Trifels-, Rehberg- und Karlstalschichten und gibt zwischen Homburg und Saarbrücken zutreffende Aufschlußpunkte der Trifels- und mittleren Karlstalschichten (Karlstalfelszone) an. DACHROTH (1967) greift die pfälzer Gliederung wieder auf und kommt zu den gleichen Kartiereinheiten wie die Bearbeiter der bayrischen Karten. Zusammen mit ARBAB und HEITELE wurde das Normalprofil nochmals aufgestellt; nachträglich erwies es sich als identisch mit den bayrischen Kartierungen und dem Profil DACHROTH's (1967).

1. Gliederung des mittleren Buntsandsteins

Zur Erfassung tektonischer Strukturen wurde auf drei Faziesgrenzen zurückgegriffen, die in Steinbrüchen und Bachrissen, sowie morphologisch gut erkennbar und im ganzen Arbeitsgebiet nachweisbar sind. Es wurden, von unten nach oben, die Grenzen

- Trifels-/Rehbergschichten (zusätzlich Rehberg-/Karlstalschichten)
- mittlere/obere Karlstalschichten und
- mittlerer/oberer Buntsandstein

herausgegriffen. Die Grenze Buntsandstein/Muschelkalk konnte der Diplomkartierung von WETTIG (1965) entnommen und, zusammen mit den übrigen Muschelkalkkartierungen von DAHMS (1965), HAGEN (1964), RASENBERGER (1964), SCHIMAZEK (1963) und WEBER (1962), zu einer umfassenden Schichtlagerungskarte zusammengestellt werden (Abb: 1).

1.1 Trifelsschichten

Die Basis der Trifelsschichten ist im Arbeitsgebiet nicht aufgeschlossen. Es wäre u.U. denkbar, daß sie im Raum Wellesweiler - Spieser-Mühle - St. Ingbert direkt dem violettstichigen, lehmigen Verwitterungshorizont an der Karbonoberfläche aufliegen.

Die am tiefsten hinabreichenden Aufschlüsse liegen im Kaasbruchtal (Wellesweiler); hier sind die Trifelsschichten als fein- bis mittelkörnige, stark schrägschichtige Sandsteine mit hohem Kies- und Feldspatanteil ausgebildet. Die kleineren Schüttungskörper sind häufig herausgewittert. Nicht selten sind in diesen Partien alte Erosionsrinnen mit stark ungleichkörnigen Konglomeraten zu beobachten.

Zum Hangenden werden die Trifelsschichten sehr kompakt und ärmer an kiesigen Gemengteilen. Sie wurden früher in zahlreichen Steinbrüchen gebrochen; in sie sind einzelne, linsige, leicht verwitterbare und daher weich aussehende Sandsteine eingelagert. Direkt unter der Oberkante der Trifelsschichten führen die felsigen Sandsteine ausnahmslos Sandsteinkugeln (Rentrisch, St.Ingbert, Rohrbach). Sie haben häufig das Aussehen von Lößkindeln, sind sehr typisch und erleichtern die Ansprache der Trifelsoberkante. In den hangenden Partien können vereinzelt Tonflatschen vorkommen; diese sind allerdings nicht so häufig wie in der Rehbergfelszone. - Die Feldspäte sind überwiegend zu Kaolin ("Schneeflöckchen") verwittert, während sie in den Rehbergschichten vorwiegend als abgerundete Körnchen vorkommen.

Morphologisch äußert sich die Trifelsoberkante in ausgedehnten Verebnungsflächen, wie sie im Raum Rentrisch - St. Ingbert (Mühlentalwald, Schmelzerwald) und St. Ingbert - Schüren vorkommen.

1.2 Rehbergschichten

Über der Sandsteinkugeln führenden Felsbank setzen die rund 40 m mächtigen Rehbergschichten zunächst mit braunroten, weichen, schwach glimmerführenden Sandsteinen ein, über die sich die weniger als 5 m messende untere Rehbergfelsbank legt. In ihr treten im Kleberbachtal ausnahmsweise auch Sandsteinkugeln auf. In ihrem Habitus ist sie den Trifelsschichten ähnlich, führt jedoch, wie die Rehbergschichten überhaupt, neben den abgerundeten Feldspäten sehr viele kleine Milchquarzkörner und ist reich an Tonflatschen.

Zwischen unterer Rehbergfelsbank und den Trifelsschichten treten im Arbeitsgebiet sehr häufig Quellen auf; so im Kleberbachtal innerhalb der unteren Rehbergfelsbank (Hirschbrunnen, Weissenbruch) und im Raum Spiesen - St. Ingbert - Rentrisch an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten (Waschbrunnen im Rödchestal, Lindenbrunnen im Kleberbachtal, die Quellen der alten Wasserversorgung Rentrisch). In Abb: 2 ist dieser Quellhorizont mit III angeführt.

Zur Hauptsache bestehen die Rehbergschichten aus weichen, stark ungleichkörnigen, rotbraunen bis braungelben Sandsteinen. In ihnen treten wenige Millimeter dicke, tonige Lagen auf. Im Gegensatz zu den Karlstalschichten, denen sie im Habitus sehr stark ähneln, fühlen sie sich aufgrund ihres höheren Schluff- bzw. Tonanteils weich an, und ihre einzelnen Sandsteinbändchen sind dicker. Ein sehr schönes Profil ist gegenwärtig am Autobahnzubringer Neuweiler St. Ingbert bei der Gemarkung Mühlentalwald aufgeschlossen.

Den Abschluss der Rehbergschichten bildet die obere Rehbergfelsbank, die jedoch direkt aufgeschlossen nur selten vorkommt und daher als Vergleichsgrenze für tektonische Zwecke im Arbeitsgebiet nicht in Frage kommt. Sie ist am Fuß des Großen Stiefels

(Nord- und Westhang) und in St. Ingbert hinter dem Lagerhaus Siemens anzutreffen. Morphologisch bildet sie die Verebnungsfläche südlich St. Ingbert - Rohrbach und kann gelegentlich einen Quellhorizont bilden (Abb: 2, III a).

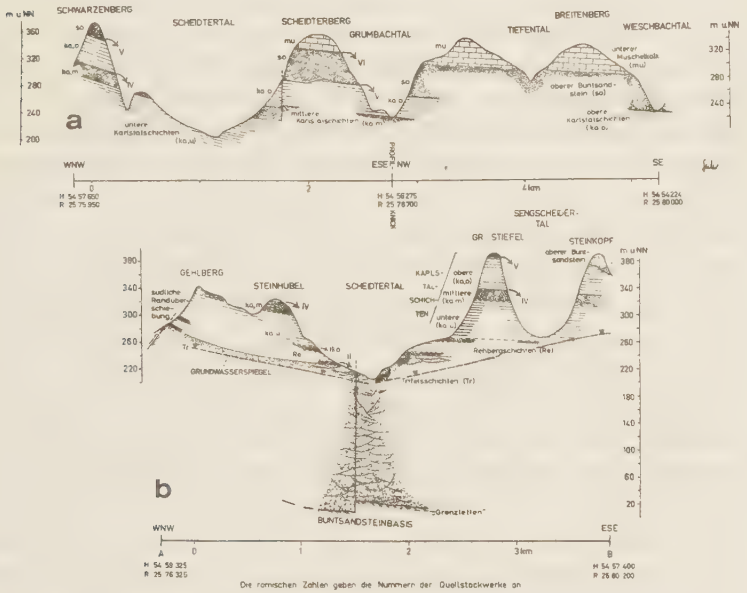

Abb: 2 Geologische Längsprofile zwischen Scheidtertal und Wieschbachtal.

1.3 Karlstalschichten

Die rund 140 m mächtigen Karlstalschichten lassen sich durch eine mächtige Zone von Felsbänken dreiteilen in untere, mittlere (Karlstalfelszone) und obere Karlstalschichten.

Untere Karlstalschichten

Die unteren, 70 m mächtigen Karlstalschichten sind in einem sehr schönen Profil hinter der Fa. PHB Heckel, Rohrbach, aufgeschlossen. Es sind dies weiche, ebenschichtige, schluffige, ungleichkörnige Sandsteine, die im Zentimeterbereich einen starken Wechsel von rotbrauner zu grauweißer Bänderung zeigen; vereinzelt sind in sie dünne Bänder aus Ton eingeschaltet. In ihrem unteren Teil treten häufiger gelbbraune Partien mittel- bis feinkörnigen Sandsteins auf; mengenmäßig treten sie aber gegenüber den ungleichkörnigen Sandsteinen zurück. Daneben findet man in den unteren, wie auch oberen Karlstalschichten dünne Sandbänder mit völlig runden Körnchen. An ihrer Basis können felsig ausgebildete Sandsteinbänkchen auftreten.

Mittlere Karlstalschichten (Karlstalfelszone)

Die 20 - 30 m mächtigen mittleren Karlstalschichten sind felsig ausgebildet mit einzelnen, weichen, zwischengeschalteten Sandsteinbänkchen. Von den tieferen Felshorizonten unterscheiden sie sich durch ihre Feinkörnigkeit und durch deutliche Kristallfacetten (Kristallsandsteine). Diese felsigen Sandsteine wurden früher an sehr vielen Stellen abgebaut (Kahlenberg, Schafkopf, Steinkopf, Birkenkopf, Scheidterberg u.a.). Die hangendste Felsbank ist durch ihre starke Geröllführung ausgezeichnet und wurde früher teilweise als Hauptkonglomerat angesprochen. Über ihr ist aber noch eine mächtige Folge weicher Sandsteine ausgebildet, die oberen Karlstalschichten. Die Grenze mittlere/obere Karlstalschichten tritt im Gelände häufig als Verebnungsfläche auf.

An der Oberkante oder innerhalb der obersten Felsbank treten weit verbreitet Quellen auf (Bismarkquelle am Birkenkopf und im Wieschb[illegible]tal Dr. Orth Brunnen, Frieda Ruh Brunnen und Brunnen am Soldatendenkmal). In Abb. 2 ist dieser Horizont als Stockwerk IV aufgeführt.

Obere Karlstalschichten

Die oberen Karlstalschichten unterscheiden sich von den unteren Karlstalschichten nur durch das häufige Auftreten dünner Kri-

stallsandsteinbänkchen. In ihrer Mächtigkeit schwanken sie zwischen rund 25 und 40 m. Dies rührt daher, daß die Grenze mittlerer/oberer Buntsandstein durch ein ausgeprägtes Erosionsrelief gekennzeichnet ist.

Ihre Oberkante fällt mit dem ersten Auftreten eines violetten Horizonts (VH), der nach MÜLLER (1954) bereits zum oberen Buntsandstein zu rechnen ist, zusammen. Dabei kann der erste VH noch einige Zentimeter in die oberen Karlstalschichten hineingreifen. Am Schafkopf fehlt hingegen ein VH und der obere Buntsandstein beginnt mit einer grobkörnigen, stark kiesigen Sandsteinbank, in der Gerölle aus einem VH stecken. Wie Dachroth bei einer Geländebegehung nachweisen konnte, sind die oberen Karlstalschichten hier nur 25 m mächtig; ebenso geringmächtig sind sie auf dem Großen Stiefel, werden dagegen zum Schwarzenberg hin wieder mächtiger. - Das Hauptkonglomerat ist im Arbeitsgebiet nur noch in kleinen Linsen anzutreffen.

Die Grenze sm/so kommt auch in den von den Saarbergwerken durchgeführten gamma-ray-Messungen sehr deutlich heraus, da der obere Buntsandstein toniger ausgebildet ist als der mittlere Buntsandstein. Innerhalb der oberen Karlstalschichten lassen sich über die gamma-ray-Messungen keine weiteren Grenzen abgreifen.

Die Grenze sm/so wird durch zahlreiche Quellhorizonte gekennzeichnet, die an jeden VH und den Karneoldolomit gebunden sein können (Quellhorizont V in Abb: 2).

Es ist nicht ganz exakt, die unteren und oberen Karlstalschichten als weiche Sandsteine oder Sande zu bezeichnen. In frischen Anrissen können sie so hart wie die felsigen Partien ausgebildet sein, doch sind sie verwitterungsanfälliger. Beim Anschlagen brechen sie in schmalen, parallel zu den Schichtflächen gestreckten, prismatischen Körpern.

2. Schichtlagerung und Tektonik im oberirdischen Einzugsgebiet des Scheidter- und Wieschbachtals.

Die Konstruktion einer Schichtlagerungskarte setzt voraus, daß der Faziswechsel an primär ebenen Flächen (Schichtflächen) stattfindet, d.h., es dürfen keine Erosionsdiskordanzen auftreten.

Die an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten aufgefundenen Geländepunkte, wurden nach den amtlichen Kartenunterlagen (1:25 000) ihrer Höhe nach eingemessen und in der graphischen Darstellung durch Linien gleichen Höhenniveaus miteinander verbunden (Abb. 3). Dabei ergibt sich durchaus ein gleichmäßiger Linienverlauf, in den sich die Höhenlage der Quellen von Stockwerk III zwanglos einfügen läßt. (33 % der Quellen liegen 11 m unter, 48 % 0 - 5 m über dieser Faziesgrenze). Daraus darf geschlossen werden, daß die Grenze Trifels-/Rehbergschichten eine ebene oder nur unwesentlich erosiv zerfurchte Fläche darstellt.

Von der Grenzfläche Karlstalfelszone/obere Karlstalschichten läßt sich aufgrund der hohen Anzahl an Konstruktionspunkten Gleiches aussagen.

Die Grenze mittlerer/oberer Buntsandstein ergibt hingegen kein sehr einheitliches Bild, sondern nur Tendenzen, die mit denen der Schichtlagerungskarte auf die Grenze mittlere/obere Karlstalschichten übereinstimmen. So kann z.B. die Mächtigkeit der oberen Karlstalschichten auf dem Schafkopf (St. Ingbert) auf kurze Entfernung von 40 auf 25 m abnehmen. Da die Schichtlagerungskarten auf die Oberkante der Karlstalfelszone und die Grenze oberer Buntsandstein/unterer Muschelkalk (Abb. 1 und 3) im Arbeitsgebiet ein identisches Bild ergeben, muß angenommen werden, daß die Grenze mittlerer/oberer Buntsandstein erosiv zerfurcht ist.

Ausgehend von der Tendenz der Streichlinien der Grenze mittlerer /oberer Buntsandstein, kann eine Mächtigkeitsreduzierung der oberen Karlstalschichten zum Saarbrücker Hauptsattel hin festgestellt werden; vom Scheidterberg zum Schwarzenberg von durch-

schnittlich 40 auf 30 m und vom Steinkopf zum Schafkopf von rund 50 auf 40 m. Mächtigkeitsreduzierungen zum Saarbrücker Hauptsattel hin liegen auch in den unteren und mittleren Karlstalschichten von, zusammengenommen, 100 m im Raum St. Ingbert - Sengscheid auf 80 - 90 m am Gehlberg und in den Rehbergschichten von 40 m (Gr. Stiefel und Raum südlich St. Ingbert) auf 25 - 30 m (Raum NW des Scheidtertals) vor. Der Saarbrücker Hauptsattel scheint also zumindest von der Zeit der Ablagerung der Rehbergschichten bis über die Grenze sm/so hinaus ein Gebiet relativer Hebungstendenz gewesen zu sein (DRUMM 1942, MÜLLER 1954). Dies müßte allerdings u.a. durch systematische Schrägschüttungsmessungen im mittleren Buntsandstein besser belegt werden.

Neben der Schichtlagerungskarte geben die Klüfte, die z.B. Störungen parallel, weniger häufig diagonal oder senkrecht dazu begleiten können, Einblick in die Tektonik des Arbeitsgebietes. Qualitativ zeigt die Auswertung von 1 500 eingemessenen Klüften, daß die

- rheinische Richtung (10-30°) mit 23 %,
- die erzgebirgische " (40-70°) mit 14 %,
- die Senkrechte zur rheinischen Richtung (80-100°) mit 15 %,
- die herzynische " (130-150°) mit 14 %
- und die eggische " (160-180°) mit 20 %

vertreten sind. Bei der Einmessung der Kluftrichtungen wurden gleichzeitig die Klufthäufigkeiten bestimmt (s.S. 30), um direkte Anhaltspunkte über mögliche Störungen zu erhalten. So konnten z.B. die Streichlinienbilder beiderseits des Scheidtertals im Bereich des Scheidterbergs nicht in Übereinstimmung gebracht werden. Die Nahtlinie zwischen diesen beiden Bereichen fällt mit einem Streifen erhöhter Kluftintensität zusammen, in dem eine Störung angenommen wird. - Mit Hilfe der Schichtlagerungskarten und Klufthäufigkeitsmessungen lassen sich die vermuteten Störungen einengen.

Die Schichten des mittleren Buntsandsteins fallen im Arbeitsgebiet durchschnittlich mit 2 - 3° nach SE bis S ein; mit Annähe-

rung an den Saarbrücker Hauptsattel erhöht sich der Einfallswinkel (in einem Aufschluß am Gehlberg erreicht er in den Rehbergschichten, z.T. auch durch die südliche Randüberschiebung bedingt, immerhin 20°). Auch die Muschelkalkbasis erhöht ihr Gefälle von rund 1° im Raum Ormesheim - Ommersheim - Aßweiler mit Annäherung an den Saarbrücker Hauptsattel auf mindestens 3° am Scheidterberg (Abb. 1). - Betrachtet man das Schichtfallen vom Saarbrücker Hauptsattel aus in Richtung Süden, so erkennt man ein langsames Umbiegen des Schichtfallens von der SE-Richtung mit Annäherung an die zusammenhängenden Flächen aus mittlerem Muschelkalk in die SSE bis S-Richtung.

Der Meinung DACHROTHs (1965), daß die gesamte Schichtneigung durch Störungen aufzulösen sei, kann nicht zugestimmt werden. Sonst müßten die SW-NE bis E-W-Richtungen als Hauptkluftrichtungen hervortreten und außerdem wäre in einem tektonisch derartig zerrütteten Gebiet kaum noch mit einer söhligen Lagerung der einzelnen Schollen zu rechnen.

2.1 Tektonische Störungen

Im Arbeitsgebiet folgen die Störungen generell der SE-NW und der SW-NE-Richtung (Abb. 1 und 3). Daneben gibt es eine ganze Reihe von N-S streichenden Störungen, die jedoch nur geringe Sprungbeträge aufweisen und bei der geringen Aufschlußdichte nur punktförmig zu erfassen sind (N-S Störung am W- und NW-Zipfel des Gehlberges, N-S Störung am alten Grubengelände St. Ingbert, N-S Störungen an der Autobahnausfahrt St. Ingbert West, N-S Störung in Rentrisch am Autobahnzubringer Neuweiler - St. Ingbert u.a.).

Im folgenden sollen die Störungen kurz beschrieben werden. Die unter 1, 2 und 10 angeführten Störungen sind bekannt, die übrigen Störungen wurden neu auskartiert.

1. Die Grabenstruktur im Bereich Ensheim - Bischmisheim ist bekannt (Bischmisheimer Graben) und soll daher nicht weiter besprochen werden. Sie bildet den Kern einer größeren Grabenstruktur zwischen Bischmisheim und Scheidterberg, die im NE von

der bekannten

2. SE-NW verlaufenden Abschiebung zwischen Kirkelbach, Triebenberg, Kl. Stiefel und Gr. Bartenberg begrenzt wird. Wie diese Störung zwischen Bartenberg und Dudweiler südwestlich am Gehlberg vorbeiläuft, muß offen bleiben. - Gegenwärtig ist sie in einer Lehmgrube im Bischmisheimer Hochwald aufgeschlossen.

3. Dieser Störung ist eine kleinere, die sich vom Dr. Orth Brunnen im Wieschbachtal zum Eichertstal hinzieht, NE parallel vorgelagert (WETTIG, 1965). Sie verwirft die SW-Scholle als Hochscholle gegen die NE-Scholle und muß gefordert werden, da im Bischmisheimer Hochwald ein Panzergraben bis zum Höhenpunkt 386,3 m ü.NN. oberen Buntsandstein aufschließt, während der NE vorgelagerte Rücken zwischen 380 und 385 m ü.NN. noch Muschelsandstein trägt (WETTIG, 1965), obwohl das Schichtfallen nach SE gerichtet ist. Ihr Vorhandensein wird dadurch bekräftigt, daß im Dr. Orth Tal sehr viele Quellen austreten und die SW-Hänge im Dr. Orth Tal und Eichertstal sehr stark verstürzt sind. Auch morphologisch darf die Linie Dr. Orth Tal - Eichertstal - Kl. Stiefel als auffällig bezeichnet werden.

4. Morphologisch fällt die gerade Linie Oberwürzbach - Sengscheid - Rentrisch auf. Am Steinkopf konnte bei Bauarbeiten an der Straße St. Ingbert - Ensheim in der Biege östlich des Waldhauses und an einem Punkt unterhalb des Waldhauses eine starke Kluftscharung festgestellt werden; ebenso an der Straße St.Ingbert West - Neuweiler (hier war die Kluftscharung von starker Eisenschwartenbildung auf den Kluftflächen begleitet). Bei der Begehung einiger Westwallstollen im Mühlental konnte schließlich auch eine kleine, 148° streichende Abschiebung aufgefunden werden, die eventuell als Begleitstörung einer größeren Abschiebung anzusprechen ist. Mit Sicherheit kann daher nur gesagt werden, daß diese morphologische Linie mit einer Zone hoher Kluftintensitäten zusammenfällt; ob daran eine Störung gebunden ist, muß offen bleiben.

Überhaupt besteht im saarländischen Buntsandstein eine enge Beziehung zwischen auffälligen morphologischen Linien und Zonen erhöhter Klüftigkeit bzw. Störungen (SEMMLER, 1955). Auch zeigt sich

immer wieder, daß der steilere Hang bzw. der Talhang mit starken Verstürzungen auf eine erhöhte Klüftigkeit zurückgeführt werden kann.

5. Die SW-NE verlaufende Störung zwischen den Wasserwerken Sulzbach und St. Ingbert ist direkt nicht aufgeschlossen. Auch kann sie wegen ihres langen Verlaufs in der Talachse und der talparallelen Anlage der Steinbrüche im Scheidtertal nicht durch Klufthäufigkeitsmessungen nachgewiesen werden. Es zeigt sich jedoch eindeutig, daß

- die Oberkante der Karlstalfelszone am Gehlberg wesentlich tiefer liegt als am Gr. Stiefel, und
- die Oberkante der Trifelsschichten NW des Scheidtertals tiefer liegt als SE davon.

Engt man aufgrund der Aufschlußverhältnisse den Störungsbereich ein, so bleibt nur ein sehr schmaler Streifen für den Verlauf der Störung übrig. - Am Wasserwerk Sulzbach dürfte sie die sehr markante, plötzliche Verengung des Scheidtertals bedingen; die am Wasserwerk selbst aufgeschlossenen Trifelsschichten gehören noch zur Hochscholle. - Wenige 100 m südlich des Bahnhofs St. Ingbert sind am Bahnkörper Rehbergschichten aufgeschlossen, während kaum 100 m östlich davon im Mühlentalwald, in topographisch höherer Lage, ein großer Steinbruch in den Trifelsschichten liegt. Bohrung 1 des Wasserbeschaffungsverbands, die unterhalb der Fa.Hadir abgeteuft wurde und beim ersten Pumpversuch zusammenfiel, könnte u.U. diese Störungen angefahren haben. Auf dem Werksgelände der Fa. Hadir wurde die Buntsandsteinbasis in 70 m ü.NN. (Tiefscholle) und in der Bohrung Mühlentalwald, die 1,2 km südlich davon liegt (Hochscholle), in gleicher Höhe angetroffen; im ungestörten Feld müßte jedoch die Buntsandsteinbasis aufgrund des Schichtfallens tiefer liegen. - Aufgrund hydrogeologischer Beobachtungen ist anzunehmen, daß diese Störung im Wassergewinnungsgebiet der Stadtwerke St. Ingbert dicht an Bohrung I vorbeizieht (s.S. 77); ihr weiterer Verlauf bis zur Spieser-Mühle ist ungewiß. Ihr Sprungbetrag liegt im Scheidtertal zwischen 20 und 40 m.

In seinem Verlauf folgt das Scheidtertal dieser Störung vom Wasserwerk Sulzbach bis zum Wasserwerk St. Ingbert, schwenkt von da in

die E-W-Richtung um und trifft am Zusammenfluß von Rohrbach und Spieser-Mühlenbach auf eine andere, ebenfalls

6. SW-NE verlaufende Störung, die gegenwärtig im Steinbruch Gergen (Rohrbach) aufgeschlossen ist. Ihr Sprungbetrag liegt bei 30 m, und die NW-Scholle entspricht der Hochscholle. - Der Steinbruch Gergen liegt in den Trifelsschichten, die hinter den Wohnhäusern die normal felsige Ausbildung zeigen und in Richtung Kleberbachtal plötzlich in völlig mürbe, sehr stark klüftige Sandsteine übergehen. Dieser Zone folgt ein breites Lehmband, der Kern der Störung, das ebenfalls stark geklüftet ist; die Klüfte in ihm und in den mürben Sandsteinen streichen in der gleichen Richtung. - In ihrem weiteren Verlauf zieht diese Störung dicht an der Bohrung Rohrbach I vorbei, wie ein Vergleich der Höhenlage der Buntsandsteinbasis anzeigt; Bohrung V (Stadtwerke St. Ingbert) erreicht die Buntsandsteinbasis bei + 150 m ü.NN., während die 200 m talaufwärts gelegene Bohrung Rohrbach I die Basis erst in + 120 m ü.NN. antrifft. Die Störung verläuft daher sicher vom Steinbruch Gergen aus zwischen den Bohrungen Rohrbach I und St. Ingbert V hindurch und dürfte im Scheidtertal den morphologischen Knick am südlichen Talhang an der Straße Rohrbach St. Ingbert bedingen. - Bei der Brauerei Becker (St. Ingbert) sind die Trifelsschichten bis in 265 m ü.NN. aufgeschlossen, während 600 m südlich davon, bei der Fa. Sehn, in einem kleineren Aufschluß Rehbergschichten in 240 m ü.NN. anzutreffen sind. Der Höhenunterschied der Trifelsoberkante kann hier jedoch auch durch eine andere Störung bedingt sein, die

7. SSW-NNE verläuft und die Westscholle als Hochscholle gegen die Ostscholle verwirft. Im Gelände ist sie direkt nicht aufgeschlossen; sie muß aber gefordert werden, da am Hundedressurplatz St. Ingbert eindeutig Rehbergschichten in 235 m ü.NN. und an der 750 m entfernten Brauerei Becker die Grenze Trifels-/Rehbergschichten in 265 m ü.NN. aufgeschlossen sind. Im Bereich der Fa. Sehn (s.o.) dürfte sie mit der von Rohrbach kommenden Störung zusammenlaufen, und die starken Grundwasseraustritte im Quellgebiet des Baches westlich der Glashütte Vopelius bedingen.

8. Eine vermutete, SSW-NNE verlaufende Störung quert das Kleberbachtal an der Bohrung Glashütte III, die durch ihre hohe

spezifische Ergiebigkeit auffällt. Nachzuweisen ist sie durch den Aufschluß an der Bohrung Glashütte III, in dem die untere Rehbergfelsbank auffällig stark geklüftet ist. Am gegenüberliegenden Talhang ist am Wegknick zum Lindenbrunnen ein stark klüftiger Lehm (lehmiger Kern der Störung) aufgeschlossen, in dem die Klüfte störungsparallel verlaufen. - Bohrung Glashütte III trifft die Karbonoberkante in + 125 m ü.NN. auf der Hochscholle an, während die Aufschlußbohrung Glashütterhof (Saarbergwerke), 350 m talaufwärts, das Karbon erst in ± 0 bis 50 m ü.NN. erschloß; der Sprungbetrag liegt beim Vergleich der Höhenlage der Karbonoberkante höher als beim Vergleich entsprechender Buntsandsteinhorizonte (20 m). Vom Kleberbachtal zieht diese Verwerfung vermutlich am Friedhof Rohrbach vorbei; ihr weiterer Verlauf nach N und S ist unbekannt.

9. Eine weitere SW-NE verlaufende Störung zieht vom Eschberg zum Scheidterberg. An ihr wechselt der Abschiebungssinn, da die SE-Scholle generell nach SSE und die NW-Scholle nach SE einfällt. - Am Ortsausgang Schafbrücke (in Richtung Scheidt) ist die Karlstalfelszone nicht mehr aufzufinden, obwohl sie, von N her gesehen, höhenmäßig noch auftreten müßte. Das Auftreten dieser Störung wird dadurch wahrscheinlich gemacht, daß im Bereich des Scheidterbergs und Eschbergs die Streichlinien auf die Karlstalfelszone östlich und westlich des Scheidtertals nicht in Einklang gebracht werden können; die Nahtlinie beider Bereiche fällt mit einem Streifen erhöhter Kluftintensitäten zusammen.

10. Die südliche Randüberschiebung des Saarbrücker Hauptsattels war bislang im Arbeitsgebiet nur von den Saarbergwerken im mittleren Buntsandstein des Rischbachtunnels angefahren worden. Dicht dabei konnte im Frühjahr 1967 ein rund 10 m breites, quer über ein Feld streichendes, in der 40°-Richtung verlaufendes Band mit sehr vielen Eisenschwarten gefunden werden, das mit Sicherheit der südlichen Randüberschiebung entspricht; darauf deuten auch die Aufschlüsse an der alten Quellfassung der Grube St. Ingbert hin, die von sehr vielen, flach nach NW hin einfallenden Klüften durchzogen werden. Somit sind die Quellen hier und die Quellen des Schlosses Elsterstein (dicht am Rischbachstollen) als Stauquellen an der südlichen Randüberschiebung anzusprechen.

- Neuerdings konnte beim Bau der B 10, am Ortsausgang Dudweiler in Richtung Scheidt, ein riesiger Harnisch gefunden werden, der mit nur 12° einfällt; die Striemungs- und Einfallsrichtung des Harnisches zeigen in die 330°-Richtung. Im Bereich des Harnischs beträgt das Einfallen der Rehbergschichten 20° in südöstlicher Richtung. Er darf als Teil der südlichen Randüberschiebung angesehen werden, zumal die unterschiedliche Höhenlage der Buntsandsteinbasis in den Aufschlußbohrungen Stuhlsatzenhaus und Guckelsberg (beide Bohrungen liegen in der Nähe des Aufschlusses) schon immer mit der südlichen Randüberschiebung in Verbindung gebracht worden ist (DACHROTH, 1967).

Zwischen der Universität Saarbrücken und dem Mausbach (St.Ingbert) kann die südliche Randüberschiebung gut nachgewiesen werden; dagegen brachte der Neubau der B 10 im Bereich Neunkirchen, wie auch die dortigen Aufschlüsse, keine Anhaltspunkte für ihr Auftreten. Es sei jedoch erwähnt, daß im "Wilden Frauental" bei Elversberg eine Aufschlußbohrung der Saarbergwerke im vermuteten Bereich der südlichen Randüberschiebung "in starken Klüften" steckengeblieben ist. Daneben sprechen hydrogeologische Überlegungen für das Auftreten der südlichen Randüberschiebung in diesem Bereich.

Bei der Neuerschließung des Wassergewinnungsgebiets Wellesweiler wurde zusammen mit meinen Kollegen Klock und Heitele versucht, einen Überblick über die Lagerungsverhältnisse des mittleren Buntsandsteins in diesem Gebiet zu gewinnen. Dabei sind zwei weitere Störungen aufgefunden worden, die der Vollständigkeit halber miterwähnt seien.

11. Im oberen Hirschbachtal (Abb.16) liegt eine rund 85° streichende Störung, die die Trifelsschichten im Raum Ludwigstal - Furpacher Hof (Hochscholle) gegen die Rehbergschichten der südlich gelegenen Gemeinde Kohlhof verwirft. Neben den gegenwärtig günstigen Aufschlüssen an der B 10, äußert sich diese Störung morphologisch im Talverlauf.

12. Das plötzliche Umbiegen des Hirschbachtals aus der 85°-Richtung in die 150°-Richtung ist ebenfalls durch eine Störung bedingt. Aufgeschlossen ist sie am Punkt r: 25 89 875, h: 54 66 225.

Aus hydrologischen Gründen muß angenommen werden, daß sie von hier in der 150°-Richtung bis mindestens zum Wasserwerk Wellesweiler reicht; sie zieht sich an der Westflanke der morphologisch auffallenden Rippe des Hirschbergs hin. - Die Westscholle entspricht der Hochscholle, da die Bohrung Hirschweihertal der Saarbergwerke (am Fuß des Hirschbergs, nahe dem Wasserwerk) 96 m Buntsandstein und 57 m Rotliegendes erbohrt hat, während die gegenüberliegenden Wasserbohrungen, mit gleicher Höhe der Ansatzpunkte, die Karbonoberfläche bereits nach 55 m Tiefe erreichen.

2.2 Zur Ausbildung der Störungen und deren hydrologische Bedeutung.

Im Zuge der Geländearbeiten konnten verschiedene Punkte aufgefunden werden, an denen Störungen aufgeschlossen sind. Allen Abschiebungen gemeinsam ist ein lehmiger Kern; er kann, wie im Steinbruch Gergen (Rohrbach) sehr mächtig werden und ist dann auch in sich stark geklüftet. In anderen Fällen liegt der Bewegungsfläche ein wenige Millimeter bis Zentimeter dicker, lehmiger, sehr harter Besteg auf. Dieser lehmige Kern wird von einer Zone starker Klüftigkeit begleitet, die sehr häufig beiderseits der Störung eine Breite von 30 - 40 m einnimmt. Dieser Wert soll nur einen Anhaltspunkt geben und beansprucht keine Verallgemeinerung. Im Hirschbachtal (Wellesweiler) traf Bohrung 5 genau den Kern einer Abschiebung; bei 30 m Tiefe fielen die Bohrlochwände in sich zusammen. Das Bohrloch wurde aufgegeben und 40 m entfernt neu angesetzt; hier war der Buntsandstein fest und gerade noch ausreichend klüftig, wie es sich anhand der spezifischen Ergiebigkeit aussagen läßt.

Die Lehmschürze im Kern der Störungen bedingt eine Parzellierung des Grundwasserträgers (s.S. 79). An ihr fällt oder steigt der Grundwasserspiegel sprunghaft, ohne daß die Störung deshalb völlig dicht zu sein braucht. Vielmehr bedarf es eines mehr oder weniger hohen Druckunterschieds, damit das Grundwasser die Lehmschürze passieren kann (s.S. 79).

Die Störung zwischen Rohrbach und der Fa. Sehn (s.S. 22) staut z.B. das Grundwasser auf der SE-Scholle (Tiefscholle) auf, sodaß

der Rohrbach und der Bach an der Glashütte Vopelius (St.Ingbert) direkt vom Grundwasser gespeist werden (dies kann den Luftbildaufnahmen dieses Gebiets sehr schön entnommen werden). Die Bohrungen Rohrbach I - III, sowie die Bohrung der Glashütte Vopelius laufen heute noch artesisch aus, die Bohrungen auf der Hochscholle dagegen nicht (ausgenommen St. Ingbert V). Ebenso wirkt sich die Störung im Dr. Orth Tal abdichtend aus (s.S. 20).

Auch an der Störung zwischen Gr. Bartenberg und Kirkelbach (s.S. 20) staut sich das Grundwasser auf der Hochscholle auf und fließt im Wiesch- und Grumbachtal oberirdisch aus. Die südliche Randüberschiebung wirkt sich ebenfalls stauend aus; an ihr entspringen zahlreiche, sehr starke Quellen, und Wasserhaushaltsberechnungen für das Scheidterbachtal zeigen, daß an ihr das unterirdische Einzugsgebiet des Scheidterbachs endet (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK, SEILER, 1968).

3. Synsedimentäre Tektonik im mittleren Buntsandstein des Arbeitsgebiets.

Es ist auffällig, daß im Kleberbachtal (Bohrung Glashütterhof) und Hirschbachtal (Bohrung Hirschweihertal) - beide Bohrungen stehen auf einer Tiefscholle - ein Vergleich der Höhenlage der Karbonoberfläche beiderseits der Störung höhere Sprungbeträge ergibt als ein entsprechender Schichtenvergleich im mittleren Buntsandstein. In beiden Fällen ist nach den Bohrunterlagen auf der Hochscholle kein und auf der Tiefscholle Rotliegendes in größerer Mächtigkeit angetroffen worden. Diese Störungen scheinen "Rotliegendfallen" darzustellen. Daraus kann geschlossen werden, daß diese Störungen im Rotliegenden aktiv waren und im mittleren Buntsandstein wieder aufrissen.

Die erneute Belebung der Abschiebungen im mittleren Buntsandstein ist nicht an einen bestimmten Zeitpunkt gebunden. So läßt sich z.B. an der Störung zwischen Kirkelbach und Gr. Bartenberg (s.S. 20) anhand der Schichtlagerungskarten auf die Trifelsschichten und die

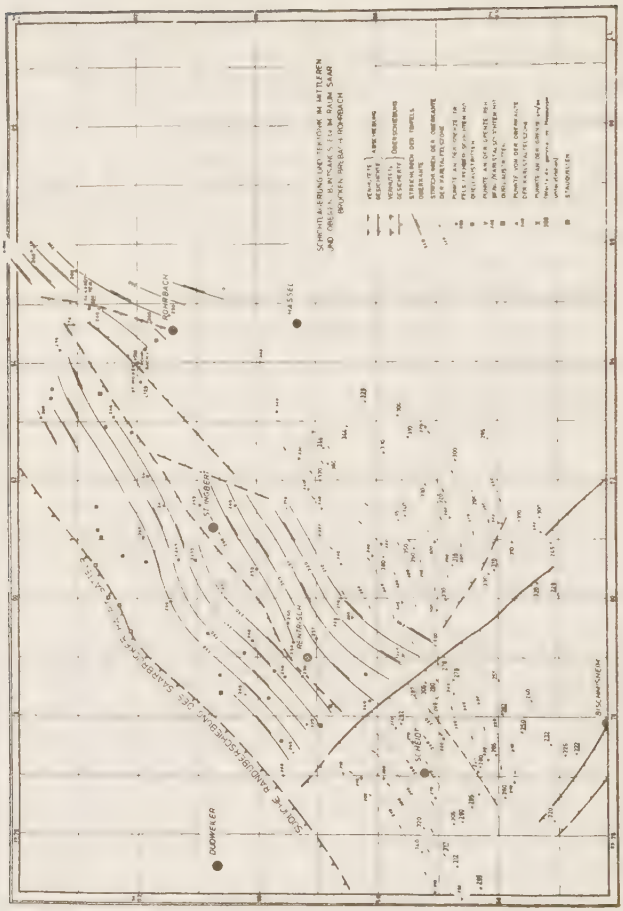

Abb: 3 Schichtlagerung und Tektonik im mittleren Buntsandstein des Scheidtertals und Wieschbachtals.

Oberkante der Karlstalfelszone (Abb. 3) zeigen, daß die Rehbergschichten bis zu den mittleren Karlstalschichten (zusammengenommen) auf der Hochscholle zur Störung hin an Mächtigkeit verlieren (Schichtlinien kreuzen sich). - Andererseits dünnen alle Faziesbereiche mit Annäherung an den Saarbrücker Hauptsattel etwas aus, sodaß man mit einer synsedimentären Tektonik rechnen muß.

Vergleicht man im Arbeitsgebiet zwischen Ensheim und dem Eschberg den Schichtlinienverlauf und die Gefällswerte der Karlstalfelszone mit den Werten für die Muschelkalkbasis (Abb. 1 und 3), so ergeben sich völlig identische Verhältnisse. Zwischen diesen beiden Schichtflächen liegt die in sich gewellte Grenzfläche vom mittleren zum oberen Buntsandstein, sodaß man sich der Meinung DACHROTH's (1967), daß der mittlere Buntsandstein an der Wende mittlerer/oberer Buntsandstein gefaltet worden sei (Lothringer Faltung !), nicht anschließen kann.

B. GEOHYDROLOGISCHER TEIL

1. Begriffe und Methoden

1.1 Verwendete hydrologische Begriffe

Unvollkommener Brunnen, Vollkommener Brunnen: Vollkommene Brunnen reichen bis zur undurchlässigen Basis des Wasserträgers; bei Förderbetrieb strömt das Grundwasser dem Brunnen nur von der Seite, nicht hingegen von der Bohrlochsohle zu. -
Unvollkommene Brunnen reichen nicht bis zur Basis des Wasserträgers und erhalten bei Förderbetrieb auch Grundwasserzuflüsse von der Bohrlochsohle.

Sickerstrecke: Die Lage des gemessenen, abgesenkten Wasserspiegels in einem Bohrloch entspricht nicht der Höhenlage des Wasserspiegels im unmittelbar angrenzenden Gestein; die Differenz aus diesen beiden Höhenwerten entspricht der Länge der Sickerstrecke (NAHRGANG, 1954).

Dupuit'sche Formel: Nach Dupuit besteht für vollkommene Brunnen in Wasserträgern mit freiem Grundwasserspiegel zwischen der Fördermenge Q, dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f, der Reichweite des Absenktrichters R, dem Radius der Förderbohrung r, der Mächtigkeit des wassererfüllten Aquifers H und der Höhe des abgesenkten Wasserspiegels über der Basis des Wasserträgers die Beziehung:

$$k_f = \frac{Q\,(\ln R - \ln r)}{\pi\,(H - h)\,(H + h)}.$$

Da die Dupuit'sche Formel in dieser Form die Länge der Sickerstrecke nicht berücksichtigt, kann sie nur für sehr kleine Absenkungsbeträge, bei denen die Länge der Sickerstrecke vernachlässigbar ist, hinreichend genaue Werte erbringen.

Energiehöhe und Druck: Beide Größen können in Metern angegeben werden. Als Bezugsniveau zur Angabe der Energiehöhe dient der Meeresspiegel; die Energiehöhe wird in der positiven Koordinatenrichtung gemessen. Die Drucke hingegen werden von einem beliebigen Bezugsniveau aus in der negativen Koordinatenrichtung bestimmt. Das Grundwasser kann aus einem Bereich niedrigerer - zu einem Bereich höherer Drucke - und umgekehrt fließen, nicht hingegen von einer niedrigeren zu einer höheren Energiehöhe.

Potentiallinien, Potentialflächen: Die Potentiallinien bzw. Potentialflächen verbinden alle Punkte gleicher Standrohrspiegelhöhe miteinander. Die Schnittlinien der Potentialflächen mit dem Grundwasserspiegel, die stets senkrecht aufeinander stehen, werden als Grundwassergleichen dargestellt. Die Geschwindigkeitsgradienten stehen senkrecht auf den Potentialflächen.

1.2 Klufthäufigkeitsmessungen

Um neben der Häufigkeitsverteilung der Kluftrichtungen (s.S.18) ein Maß für die Anzahl der Klüfte pro Meter Horizontalentfernung zu erhalten (Kl/m), wurden Klufthäufigkeitsmessungen durchgeführt. Dazu werden in den vorhandenen Aufschlüssen alle erkennbaren Klüfte, sowie die Länge der Aufschlußwand und deren Richtung eingemessen, um die Anzahl der Klüfte einer bestimmten Kluftrichtung jeweils auf die Senkrechte zur mittleren Streichrichtung dieser Klüfte beziehen zu können; schließt eine Kluftschar konstanter Richtung mit der Aufschlußwand den Winkel α ein, so verkürzt sich die im Aufschluß gemessene Strecke y auf

$$x = y \cos (90^\circ - \alpha)$$
$$x = y \sin \alpha \ .$$

Da die Klüfte nicht alle gleich bewertet werden können, wurden sie nach den Wertigkeiten abgestuft (CARLE, 1955).

- Klüfte 1. Ordnung durchziehen den Aufschluß in seiner ganzen Höhe und werden bei der Auszählung 3/3 mal gezählt,
- Klüfte 2. Ordnung durchziehen mindestens zwei Bänke, jedoch nicht die ganze Aufschlußhöhe und werden 2/3 mal gezählt, und
- Klüfte 3. Ordnung durchziehen nur eine Bank und werden 1/3 mal gezählt.

Für geohydrologische Fragestellungen haben nur die Klüfte 1. Ordnung aufgrund ihrer großen horizontalen und vertikalen Reichweite eine größere Bedeutung; die Klüfte 1. Ordnung sind außerdem am verbreitetsten.

Daneben muß unterschieden werden zwischen Kluftmessungen im felsig und mürb ausgebildeten Sandstein, da diese Horizonte im Aufschlußbereich unterschiedliche Klufthäufigkeiten aufweisen können (Vergleichswerte hierfür können leider nicht gegeben werden). Da im Bereich der Verwitterungszone die Kluftweiten in den felsigen Horizonten wesentlich größer sind als in den mürben Partien, kann auch ein erheblicher Unterschied in den Klufthäufigkeiten vorgetäuscht werden.

Beobachtungen im Bereich von aufgeschlossenen Störungen zeigen, daß sie häufig beiderseits von einem rund 30 m breiten Streifen erhöhter Klüftigkeit begleitet werden. Die Meßstrecken wurden daher nie länger als 25 m gehalten, d.h. in den Aufschlüssen mit großer Längserstreckung muß die Aufschlußlänge unterteilt werden, da sonst die Klufthäufigkeiten eine Abhängigkeit von den Aufschlußverhältnissen zeigen müßten. Ebenso dürfen die Meßstrecken nicht zu klein ausfallen, da sonst die Klufthäufigkeiten unnatürlich hohe Werte annehmen würden; hier haben Beobachtungen gezeigt, daß die horizontale Meßstrecke nicht kürzer als 5 m sein sollte. Daraus ergibt sich weiterhin, daß bei der Auswertung der gemessenen Klüfte nicht für jede Kluftrichtung die Klufthäufig-

keit bestimmt werden kann, da sonst die aus der Aufschlußlänge und -Richtung bestimmte, zur Kluftrichtung senkrecht verlaufende Bezugsrichtung zu klein wird.

Man kann durch die Klufthäufigkeitsmessungen Vergleichswerte erhalten, die von den Aufschlußverhältnissen weitgehend unabhängig sind; um von den Vergleichswerten möglichst genau zu den natürlichen Werten zu gelangen, dürfte es erforderlich sein, von der Klüftigkeit im Bereich der Störungen auszugehen. Mögliche Unterschiede in der Klufthäufigkeit, aufgrund der verschiedenen Sprödigkeit des Gesteins, wirken sich nicht wesentlich aus, da die felsig und mürb ausgebildeten Partien nicht gleichmäßig über den mittleren Buntsandstein verteilt sind. Man kann im Arbeitsgebiet, von der Buntsandsteinbasis aus gesehen, einen fast ausschließlich felsig ausgebildeten, bis 200 m mächtigen Profilabschnitt bis zur Grenze Trifels-/Rehbergschichten, von einem rund 150 m mächtigen, mürb ausgebildeten Abschnitt bis zur Grenze mittlerer/oberer Buntsandstein unterscheiden.

1.3 Verdünnungsversuche mit Uranin

Neben den direkten Färbversuchen zwischen zwei Bohrlöchern, die nur im stärker klüftigen Medium durchführbar sind, sollten die Verdünnungsversuche Aufschluß über die "horizontalen" Filtergeschwindigkeiten in Beobachtungsbohrungen geben. Dazu wird die Wassersäule einer Bohrung (im mittleren Buntsandstein des Saarlandes sind die Bohrlöcher i. allg. frei stehend) mit Uranin eingefärbt und anschließend mit einer Motorpumpe kräftig durchmischt. Je nach Gegebenheiten werden dann aus verschiedenen Tiefen, in bestimmten Zeitintervallen, Proben mit einem selbsttätig unter Wasser schließenden Entnahmegerät entnommen. Da sich die Wassersäule nach kurzer Zeit zu schichten beginnt, müssen die Proben mit äußerster Vorsicht gezogen werden; wie die Ergebnisse zeigen, findet dann keine meßbare Durchmischung der Wassersäule statt. - Die Proben werden dann über sehr dünne Tonzellen, die nach jedem Durchgang gespült und getrocknet werden müssen, gefiltert, um die Extinktion im ZEISS-Elko zu bestimmen.+) Über eine Eichkurve von

---

+) Die Absorption wurde mit einem ZEISS-S 49 E Filter (490 nm) gemessen.

STRAYLE und VILLINGER (Tübingen) wurden hernach die Elko-Werte in die entsprechenden Uraninkonzentrationen übertragen (Tab.14).

Nach MAIRHOFER (1967) läßt sich die Filtergeschwindigkeit (v_f) nach der Gleichung

$$v_f = \frac{\pi D}{2 \alpha 2 \Delta t} \ln \frac{I_o}{I_t}$$ berechnen.

(D = Bohrlochdurchmesser; I_o und I_t = Uraninkonzentrationen zu Beginn und Ende des Zeitraums Δt; α = ein Umrechnungsfaktor).

Die graphische Darstellung der Konzentrationsabnahme mit der Zeit zeigt (Abb. 4 A und B), daß die Konzentrationsabnahme linear mit dem dekadischen Logarithmus erfolgt, sodaß für die vorliegenden Untersuchungen in den unverfilterten Bohrungen

$$v_f = \frac{\pi D}{2 \Delta t} \cdot \frac{1}{2} \cdot \log \frac{I_o}{I_t}$$

geschrieben werden muß. Um die Richtigkeit der abgewandelten Formel zu überprüfen, wurde der k_f-Wert nach Dupuit und aus Verdünnungsversuchen für den vollkommenen Brunnen 4 (Hirschbachtal, Abb. 16) bestimmt. - Nach Verdünnungsversuchen in 10, 20 und 30 m Tiefe unter Rohroberkante ergibt sich bei ruhendem Förderfeld in den Bohrungen aB 19 und PB 1, die um Brunnen 4 herum liegen (Abb. 16), eine mittlere Filtergeschwindigkeit von $4{,}8.10^{-5}$ cm/s bei einem Grundwassergefälle von 9,5 %; daraus errechnet sich nach Darcy ein k_f-Wert von

$$k_f = \frac{v_f}{i} = 5{,}05.10^{-4} \text{ cm/s}$$

Nach Dupuit errechnet sich für den Brunnen 4, bei einer spezifischen Ergiebigkeit (s.S. 41) von 0,5 l/s.m, ein k_f-Wert von

$$k_f = 5{,}55.10^{-4} \text{ cm/s}$$

Die Übereinstimmung der beiden Werte darf als gut bezeichnet werden.

Die pH-Werte des Wassers im mittleren Buntsandstein des Saarlands liegen im Mittel zwischen 5 und 6, sodaß man annehmen müßte, daß Uranin als Markierungsmittel für Verdünnungsversuche ungeeignet ist, da es im sauren Bereich zur Komplexbildung neigt (KÄSS, 1963/64). Laborversuche mit Grundwasser von pH 5,5 haben gezeigt, daß diese Komplexbildung offensichtlich sofort erfolgt, da die Extinktion der Proben während der ganzen Versuchsdauer (über eine Woche) konstant blieb. Da bei den Verdünnungsversuchen die eingegebene Uraninmenge uninteressant ist, und nur die relative Konzentrationsabnahme entscheidet, dürften die Versuche zutreffende Ergebnisse erbringen.

Die horizontalen Filtergeschwindigkeiten werden durch Vertikalströmungen in den Beobachtungsbohrungen beeinflußt. Wie stark dieser Einfluß ist, konnte aus versorgungstechnischen Gründen nicht bestimmt werden.

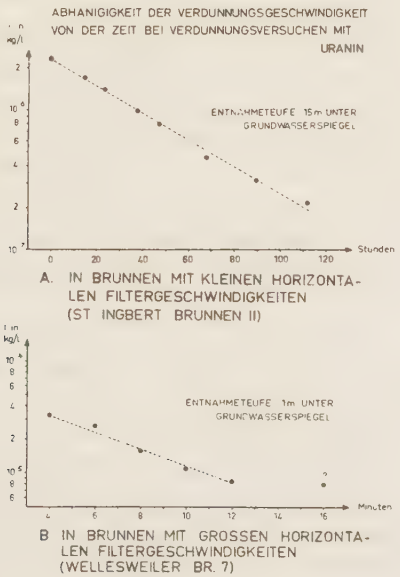

Abb. 4 Beispiele für die Verdünnungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit bei Verdünnungsversuchen mit Uranin.

Diffusionserscheinungen machen sich nach BOROWCYK, MAIRHOFER & ZUBER (1961) bei Verdünnungsversuchen mit radioaktiven Isotopen bei Filtergeschwindigkeiten unter 10^{-4} cm/s erstmals bemerkbar. Wo diese Untergrenze für Verdünnungsversuche mit Uranin liegt, ist unbekannt, da dazu erst der Diffusionskoeffizient für Uranin bestimmt werden müßte. Es ist jedoch anzunehmen, daß für Uranin, dessen Molekulargewicht größer ist als das Gewicht der Isotope, diese Untergrenze noch etwas tiefer liegt.

Eine Fehlergrenze für die Ergebnisse der Verdünnungsversuche kann nur mit Vorbehalt angegeben werden; sie liegt bei fünf vergleichbaren Versuchen bei maximal 25 %, die sich bei den errechneten, sehr kleinen Filtergeschwindigkeiten (zwischen 5.10^{-5} und $7 \cdot 10^{-3}$ cm/s) jedoch nicht wesentlich auswirken kann.

1.4 Direkte Färbversuche

Neben den Verdünnungsversuchen wurden direkte Färbe- und Salzungsversuche durchgeführt, um zwischen Eingabe und Entnahmepunkt die natürlichen (wahren) Fließgeschwindigkeiten (Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers) zu bestimmen. Die Verbindungsbahnen bilden in dem feinkörnigen, i. allg. stark ungleichkornigen mittleren Buntsandstein die Klüfte. Außerdem wurde bei den direkten Markierungsversuchen die wieder ausgetretene Menge des Markierungsstoffes bestimmt.

1.41 Ergebnisse der direkten Färbversuche.

In Bohrung 4 (Wieschbachtal, E = 2,5 l/s.m), die eine 30 m tiefe, einzementierte Verrohrung hat, war eine bakteriologische Beeinträchtigung des geförderten Wassers seit langem bekannt. In dem nahegelegenen, künstlich an den Talrand verlegten Bachbett fließt der Wieschbach über anstehenden, klüftigen Buntsandstein der oberen Karlstalschichten. Das Salz bzw. Uranin wurde in eine Kluft im Bachbett 105 m von Bohrung 4 entfernt (Abb. 5), eingegeben und der Salz- bzw. Uranindurchgang in Bohrung 4 bestimmt. Die Absenkung des Ruhewasserspiegels blieb stets innerhalb der Verrohrung.

- Salzungsversuch: Eingegeben wurden 50 kg NaCl oder 30,5 kg Cl^-. In Abb. 6 a ist der Salzdurchgang graphisch dargestellt. Entsprechend der durchschnittlichen Förderleistung der U-Pumpe von 69 m^3/h, wurden im Zeitraum von 8,5 Stunden 7,6 kg Cl^- oder 25 % der Eingabe zurückgewonnen. - Gleichzeitig wurde die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit gemessen (Abb. 7); dabei zeigt sich, daß auf + 1 mg/l Cl^- die elektrische Leitfähigkeit (im Meßbereich) um 4 μS ansteigt.

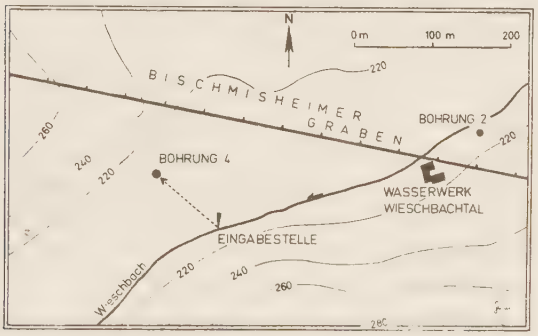

Abb: 5 Lage der Eingabe- und Entnahmestelle beim Färb- und Salzungsversuch im Wieschbachtal.

- Färbversuch mit Uranin: Eingegeben wurden 250 g Uranin; davon konnten über einen Zeitraum von 568 Min. (Abb. 6 b) bei einer mittleren Förderleistung der U-Pumpe von 93 m^3/h 41,8 g oder 16,7 % der eingegebenen Uraninmenge zurückgewonnen werden. Da das Auslaufende der Konzentrationskurve extrapoliert wurde und Kurven dieses Typs ein weit auslaufendes Ende zeigen, kann sich der prozentuale Anteil an zurückgewonnenem Uranin noch etwas erhöhen. Außerdem wird die Menge des ausgebrachten Uranins aufgrund des pH-Werts von 6,5 (KÄSS, 1963/64) um etwa 40 % herabgesetzt, sodaß die zurückgewonnene Uraninmenge sicher etwas mehr als 25 % der Eingabe beträgt.

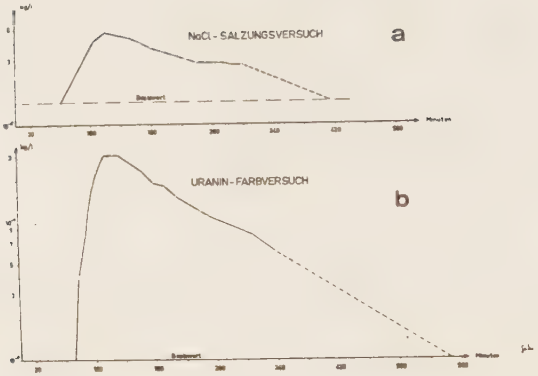

Abb: 6 Gang des Uranin- bzw. Salzgehalts in Bohrung 4 beim Färb- und Salzungsversuch im Wieschbachtal

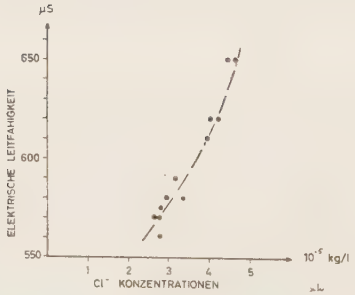

Abb: 7 Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Cl^--Gehalt des Wassers (Salzungsversuch Wieschbachtal)

- Versickerung des Bachs über der Eingabestelle: Wird der Bach um die Versickerungsstelle herumgeleitet, so senkt Bohrung 4 den Ruhewasserspiegel bei einer Förderung von 24,5 l/s um 9,3 m ab. Leitet man bei gleicher Absenkung in Bohrung 4 den Bach über die Versickerungsstelle, so verliert er 4,32 l/s (nach Flügelmessungen), und Bohrung 4 fördert 1,4 l/s mehr, d.h. 32,4 % des versickerten Bachwassers.

Alle drei Versuche, die Menge des geförderten Bachwassers zu bestimmen, ergeben etwa gleiche Ergebnisse; eine Beziehung zwischen der Menge des geförderten Bachwassers und der Fördermenge war nicht festzustellen. Sowohl das Uranin, als auch das Salz erreichen Bohrung 4 nach rund 55 Min., sodaß das Wasser zwischen der 105 m entfernten Eingabestelle und der Bohrung mit einer wahren Geschwindigkeit von

$$v_n = 3{,}18 \text{ cm/s} \quad \text{(Maximalgeschwindigkeit)}$$

fließt. Da die Klüfte im Bachbett genau auf die Bohrung zu streichen, dürfte die kürzeste Entfernung zwischen Eingabestelle und Bohrung 4 etwa der tatsächlich durchflossenen Wegstrecke entsprechen.

Im Hirschbachtal wurden direkte Uranin-Färbversuche zwischen PB 3, sowie PB 4 und Bohrung 7 (Abb.16) durchgeführt. PB 3 liegt 54 m westlich und PB 4 70 m nördlich Bohrung 7; die Peilbohrungen werden mit der Förderbohrung direkt durch Klüfte verbunden. Zwischen PB 3 und Bohrung 7 wurden bei allen Zwischenpumpversuchen und dem abschließenden Pumpversuch die natürlichen Fließgeschwindigkeiten bei verschiedenen Förderstufen bestimmt (Abb. 17); dazu wurde das Grundwasser nur an seiner Oberfläche eingefärbt. - Da PB 4 erst gegen Ende der Abteufarbeiten an Bohrung 7 zu Kontrollzwecken gebohrt wurde, konnten hier nur beim abschließenden Pumpversuch fortlaufende Einfärbungen durchgeführt werden. - Die Schwankungsbreite der natürlichen Fließgeschwindigkeiten liegt zwischen PB 3 und Bohrung 7 (1,28 cm/s im ruhenden Förderfeld bis maximal 9,24 cm/s bei Förderbetrieb) wesentlich höher, als zwischen PB 4 und Bohrung 7 (2,08 cm/s bis etwas mehr als 3,67 cm/s). Auf diese Versuche soll in einem anderen Zusammenhang nochmals zurückgegriffen werden (s.S. 63).

2. Grundwasserzirkulation im Kluft- und Porenraum des saarländischen mittleren Buntsandsteins.

KEILHACK (1933) weist darauf hin, daß u.a. Bohrung 1 im Wieschbachtal und der Kesselhausbrunnen der Stadtwerke Sulzbach (Scheidtertal) ihr Wasser aus Klüften beziehen, gibt jedoch der Grundwasserzirkulation im Porenraum den Vorzug und läßt das Problem des zunehmenden artesischen Auslaufs mit fortschreitender Bohrlochtiefe offen. DRUMM (1942) und SEMMLER (1940, 1955) legen den Nachdruck auf die Porenwasserströmung wegen des Auftretens von gespanntem Wasser und der Zunahme des artesischen Auftriebs mit fortschreitender Bohrlochtiefe, die als eine Folgeerscheinung der Schichtneigung angesehen wird, und kommen zu einer Aufteilung des mittleren Buntsandsteins in verschiedene, durchhaltende Stockwerke (SEMMLER, 1940). In der Folgezeit haben alle Bearbeiter für Fragen der Grundwassergewinnung und des Grundwasserschutzes diesen Standpunkt mit Nachdruck vertreten und sehen die Grundwasserfließrichtungen nur in Abhängigkeit von der Schichtneigung und vom Relief an der Basis des Grundwasserträgers. Erst THIELE (1965 a,b) betont die Grundwasserzirkulation im klüftigen Medium, geht von der Semmler'schen Aufgliederung des Wasserträgers in einzelne Stockwerke ab und wendet die gültigen Gesetzmäßigkeiten über die Grundwasserfließrichtungen an. Das Auftreten von Kluftwasser leitet er u.a. von der Standfestigkeit der frei stehenden Bohrlöcher und den stark schwankenden spezifischen Ergiebigkeiten von Bohrloch zu Bohrloch ab. In den nachfolgenden Arbeiten von HEIZMANN (1965) und LIENEKE (1967) wird der Porenraum als Zirkulationsmedium wieder in den Vordergrund gestellt, ohne jedoch der Grundwasserzirkulation in den Klüften eine, wenn auch untergeordnete, Rolle abzusprechen.

Wie die direkten Färbversuche zeigen (s.S. 38), spielen die Klüfte für die Grundwasserzirkulation sicher eine Rolle. Im Folgenden soll versucht werden, die Bedeutung und Verteilung der Klüfte im mittleren Buntsandstein und die Wechselbeziehungen zwischen Kluft- und Porenwasser zu umreißen.

2.1 Spezifische Ergiebigkeit und Brunnencharakteristiken.

Die spezifische Ergiebigkeit (E-Wert) ist definiert als die Wassermenge (hier in l/s), die einem Förderbrunnen bei einer Absenkung des Ruhewasserspiegels um 1 m entnommen werden kann.

$$E = \frac{Q}{s} \quad (l/s \cdot m)$$

Trägt man graphisch die Fördermenge gegen die Absenkung auf, so ergibt die Verbindungslinie der Punkte die Brunnencharakteristik, die unterschiedlich verlaufen kann (Abb. 8 A-C):

A stellt sie eine Gerade dar, so liegt gespanntes Grundwasser vor; die Steigung der Brunnencharakteristik entspricht dem E-Wert (E = const.)

B nimmt die Absenkung gegenüber der geförderten Wassermenge stärker zu, so liegt ein einheitlicher, freier Grundwasserspiegel vor (E nimmt mit stärkerer Absenkung mehr oder weniger kontinuierlich ab).

C nimmt die Absenkung bei steigender Förderung langsamer als die geförderte Wassermenge zu, so liegt ein gegliederter Grundwasserträger vor, in dem die piezometrischen Niveaus der einzelnen Stockwerke zur Tiefe hin immer niedriger werden (E nimmt zu).

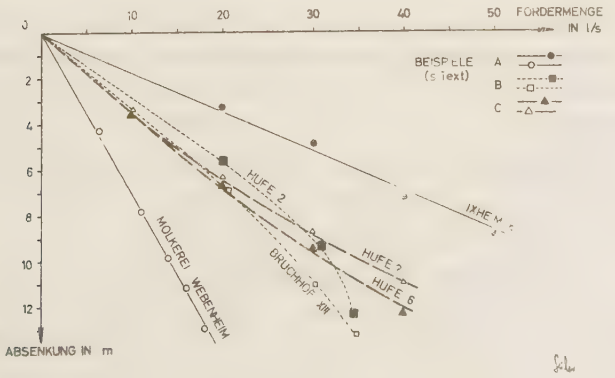

Abb: 8 Typische Brunnencharakteristiken aus dem mittleren Buntsandstein des Saarlands.

Die ersten beiden Beispiele sind aus der Literatur hinreichend bekannt (PRINZ, 1923) und sollen nicht weiter erläutert werden. Das dritte Beispiel stellt einen Sonderfall dar und kommt am häufigsten dort vor, wo Bohrungen in einem durch Grundwasserförderung sehr stark beanspruchten oder beeinflußten Gebiet stehen. Auf diese Erscheinung soll jedoch in einem anderen Zusammenhang eingegangen werden (s.S. 73).

Von 34 auswertbaren Pumpversuchen zeigen 21 Bohrungen eine konstante spezifische Ergiebigkeit, in 4 Bohrungen nimmt der E-Wert ab und in 9 Bohrungen zu. Daraus darf geschlossen werden, daß im mittleren Buntsandstein des Saarlands

- i. allg. gespanntes Wasser vorliegt, und die piezometrischen Niveaus in den einzelnen Stockwerken, soweit vorhanden, nur wenig voneinander abweichen, und
- freie Wasserspiegel nur selten vorkommen.

Zunehmende E-Werte mit fortschreitender Absenkung zeigen fast ausschließlich die Bohrungen im Hufengebiet (Warndt); hier liegt also keine gleichmäßige Verteilung der Bohrungen vor, sodaß diese Erscheinung, wie bereits erwähnt, als Sonderfall zu deuten ist.

Stellt die spezifische Ergiebigkeit eine Konstante dar, so kann

$$E = \frac{Q_2 - Q_1}{s_2 - s_1}$$ geschrieben

werden, d.h. in Bohrungen mit artesischem Auslauf kann graphisch oder rechnerisch die Steighöhe des Wasserspiegels über Flur für den Zeitraum des Pumpversuchs hinreichend genau bestimmt werden.

In der Dupuit'schen Gleichung (s.S. 29) für den Fall des gespannten Wasserspiegels $k_f = \frac{Q\ (\ln R - \ln r)}{\pi\ (H + H)\ (H - h)}$

kann $H - h = s$ (Absenkung) und

$$\frac{Q}{s} = E$$ geschrieben werden,

sodaß $k_f = E\ \frac{\ln R - \ln r}{\pi\ (H + H)}$ wird.

Diese Beziehung ist nur dann berechtigt, wenn es sich um vollkommene Brunnen handelt, in denen die Sickerstrecke vernachlässigbar klein ist, d.h., wenn h gegen H strebt. Die spezifische Ergiebigkeit darf dann als Vergleichswert für die Durchlässigkeit des Gesteins angesehen werden, während der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert die tatsächliche Durchlässigkeit wiedergibt.

Die spezifischen Ergiebigkeiten stellen Vergleichswerte dar, deren Größe u.a. von der Tiefenlage des Wasserspiegels beeinflußt wird. Liegt bei gleichem k_f-Wert, in einem 100 m tiefen Bohrloch z.B. der Wasserspiegel auf Flurniveau, so ist der E-Wert 1,25 mal größer als bei einem entsprechenden Bohrloch, dessen Wasserspiegel 20 m unter Flur liegt. - Die Bohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlands treffen den Grundwasserspiegel i. allg. zwischen 0 und 20 m unter Flur an, sodaß die spezifische Ergiebigkeit nur mit maximal 20 % Genauigkeit angegeben werden kann; diese Ungenauigkeit fällt jedoch bei den generell sehr klein ausfallenden E-Werten kaum ins Gewicht. Auf die Frage der Abhängigkeit der spezifischen Ergiebigkeit von der Brunnentiefe soll in einem anderen Zusammenhang eingegangen werden (s.S. 46).

2.2 Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ergiebigkeiten.

Die Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ergiebigkeiten gibt Auskunft über die normale Ergiebigkeit der Bohrungen, da die Bohrungen bislang im Bereich der Vorfluter in gleichmäßiger Verteilung angesetzt wurden. Sollen die E-Werte als Vergleichswerte zugezogen werden, so müssen sie folgende Bedingungen erfüllen:

- die Bohrungen müssen mindestens 100 m tief sein, da nur der Teufenbereich zwischen 0 und 100 m die spezifische Ergiebigkeit entscheidend variieren kann (s.S. 46),
- die Bohrlochdurchmesser dürfen nicht wesentlich voneinander abweichen; kleinere Schwankungen des Bohrlochdurchmessers fallen nicht ins Gewicht, und

- die spezifische Ergiebigkeit einer Bohrung muß aus den Ergebnissen mehrerer Förderstufen ermittelt werden, um die reduzierten Werte bei einer Überbeanspruchung der Bohrung ausklammern zu können.

Die statistische Auswertung von 112 Bohrungen, die diese Bedingungen erfüllen, zeigt im Bereich von E = 0,5 - 1,5 l/s·m ein deutliches Maximum (Abb. 9, Tab. 1). Versucht man diesen Ergiebigkeitsbereich weiter einzuengen, so darf die normale Ergiebigkeit einer Bohrung im mittleren Buntsandstein des Saarlands mit 0,7 - 1,3 l/s·m angegeben werden.

Vergleicht man den Wechsel der spezifischen Ergiebigkeiten von Brunnen, die dicht beieinander liegen (Wasserwerk Sulzbach, Brunnen 5 a: 2,1 l/s·m und Brunnen 4: 0,88 l/s·m; Wasserwerk St. Ingbert, Brunnen B: 5,54 l/s·m und Brunnen R 4: 1,35 l/s·m, u.a.m.) und berücksichtigt, daß in diesen Fällen keine Verwerfungen für ein mehr oder weniger ergiebiges Grundwasserstockwerk verantwortlich gemacht werden können, so liegt die Vermutung nahe, daß eng begrenzte Bahnen erhöhter Wegsamkeit dafür bestimmend sind.

Aus diesem Grunde wurden im Bereich Rohrbach - Schafbrücke - Erbach Kluftintensitätsmessungen (s.S.30) durchgeführt. - Alle 1500 eingemessenen Klüfte reichen bis zur Geländeoberfläche und sind im Mittel schwach geöffnet. Außer an Störungsflächen, die sich hydrologisch hemmend auswirken (s.S. 25), sind nur an drei Stellen verlehmte Klüfte angetroffen worden (Scheidt, unterhalb der neuen Kirche; Aufschluß an der Autobahnausfahrt St. Ingbert West; an der neuen B 10, nahe der Querung des Hirschbachtals). In einigen wenigen Fällen sind die Klüfte mit groben Quarzkörnern erfüllt und deuten sich im Gestein als helle Bänder an. I. allg. sind die Kluftwände mit Mangan- oder Eisenbestegen ausgekleidet. Stark klaffende Klüfte konnten an der Geländeoberfläche u.a. bei Bohrung 4 im Wieschbachtal (E = 2,5 l/s.m), im Grumbachtal in der Verlängerung von Bohrung 1 (E = 4,6 l/s.m), am Wasserwerk Rentrisch in einem Baulager, im Kleberbachtal auf Bohrung Glashütte III (E = 8,7 l/s·m) weisend, an der B 10 (nahe der Querung des Hirschbachtals), in den Steinbrüchen um Bexbach

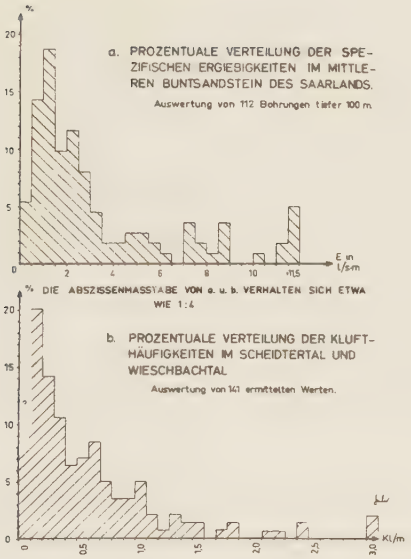

Abb: 9 Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ergiebigkeiten und Kluftintensitäten im mittleren Buntsandstein des Saarlands

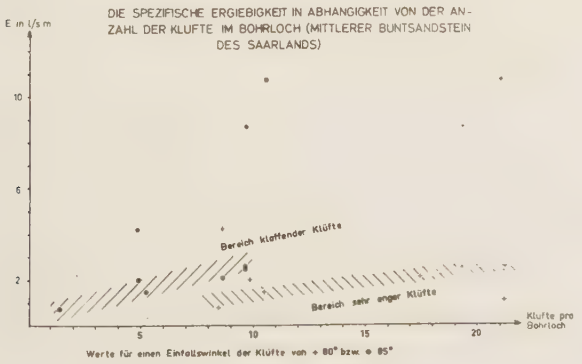

Abb: 10 Beziehung zwischen der Anzahl der Klüfte im Bohrloch und der spezifischen Ergiebigkeit.

und vor allem im Warndt (KLOCK, 1968) aufgefunden werden. Der Meinung THIELE's (1965 b), daß in den oberen 15 - 30 m ein "schwach verfestigter Sand mit ganz seltener Klüftung" anstehe, kann daher nicht entsprochen werden.

Aus den 1500 eingemessenen Klüften sind die Kluftintensitäten in 141 Fällen bestimmt worden, die in Abb. 9 den spezifischen Ergiebigkeiten in ihrer prozentualen Häufigkeit gegenübergestellt sind. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Klufthäufigkeit 0 Kl/m nur schwer bestimmbar ist, sodaß sich die prozentuale Verteilung der Kluftintensitäten in ihrer Amplitude etwas verringern kann, ohne jedoch das Verteilungsschema zu verändern. Nach ARBAß (1968) liegt im Bereich des Würzbachtals das gleiche Verteilungsschema vor, sodaß dieses Ergebnis durchaus verallgemeinert werden darf. Die Gleichsinnigkeit der beiden Häufigkeitsverteilungen (Abb. 9) legt die Vermutung einer Beziehung zwischen Klüftigkeit und spezifischer Ergiebigkeit nahe.

Um eine quantitative Beziehung zwischen Klufthäufigkeit und spezifischer Ergiebigkeit zu suchen, ist der Versuch unternommen worden, Klufthäufigkeiten in Aufschlüssen, die sehr dicht an Bohrungen liegen zu ermitteln und auf die Anzahl der Klüfte im Bohrloch umzurechnen (um auch flache Bohrungen in diese Untersuchungen mit einbeziehen zu können). Wie die Geländebeobachtungen zeigen, darf das mittlere Einfallen der Kluftflächen mit 85 - 80° angenommen werden. Wie später gezeigt werden wird (s.S. 46), darf in Bohrungen tiefer als 100 m die Brunnentiefe nur mit 100 m eingesetzt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 10 dargestellt; allerdings bringen 9 auswertbare Fälle noch kein allgemein gültiges Mittel. Andere Überlegungen zeigen jedoch (s.S. 61), daß dieser Beziehung eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit zukommt, sodaß man einer großen Zahl an Klüften wenig variierende Kluftweiten (in der Horizontalen gesehen) zuordnen möchte. Dann müßte der schraffierte Bereich in Abb. 10, je nach dem, welchen Einfallswinkel man für die Kluftflächen zugrunde legt, einen Bereich stärker von einem Bereich weniger gut geöffneter Klüfte trennen.

2.3 Die vertikale Reichweite der Klüfte in den Bohrungen

Zur vorliegenden Frage sind im Saarland bislang keine Untersuchungen durchgeführt worden. Nur THIELE (1965 b) vermutet anhand der Brunnenleistungen im Scheidtertal und analogen Beobachtungen aus dem Spessart und Odenwald, daß es wirtschaftlich nicht mehr rentabel sei, tiefer als 100 m zu bohren. Man kann ohne weiteres hierfür durch die Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit mit wachsender Bohrlochtiefe Anhaltspunkte gewinnen. Hierzu liegen von 27 Bohrungen Pumpversuche bei verschiedenen Bohrlochtiefen und von 7 Bohrungen die Zunahme des artesischen Auslaufs mit fortschreitender Bohrlochtiefe vor. - Bohrungen, die nach jahrelangem Betrieb vertieft wurden, können dabei nicht ausgewertet werden (z.B. Bliesmengen Bolchen), da sich jede Bohrung mit dem Förderbetrieb in ihrer Ergiebigkeit etwas steigern kann.

In Abb. 11 b ist der Gang der spezifischen Ergiebigkeit mit wachsender Bohrlochtiefe von drei Brunnen stellvertretend für alle Bohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlands dargestellt. Der E-Wert der gering ergiebigen Bohrung Halberg nimmt zur Tiefe hin langsam, aber stetig zu und zeigt etwa ab 250 m unter Flur keinen Anstieg mehr. Die Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit von Wellesweiler 7 und Beeden 8 erfolgt zwischen 0 und 100 m Tiefe dagegen sehr rasch, aber nicht sprunghaft, und verhält sich über 100 m Tiefe etwa wie die Bohrung Halberg. Tab: 2 kann entnommen werden, daß 24 von 27 Bohrungen, unabhängig von ihrer spezifischen Ergiebigkeit bei 100 m Bohrlochtiefe, ab 100 m Tiefe nur noch einen mittleren Ergiebigkeitszuwachs von 0,2 l/s.m auf weitere 100 m Tiefenzuwachs zeigen (Minimum 0 l/s·m, Maximum 0,4 l/s·m), d.h., die Bohrungen verhalten sich so, als würden sie aus einem gleichförmigen Wasserträger, dem porösen Buntsandstein gespeist. Offensichtlich wirken sich die Klüfte ab 100 m Bohrlochtiefe hydrologisch nicht mehr aus.

Dieser Untersuchung darf weiterhin entnommen werden, daß im klüftigen mittleren Buntsandstein

- kein Tiefenbereich mit besonders hohem Wasserandrang vorliegt, und

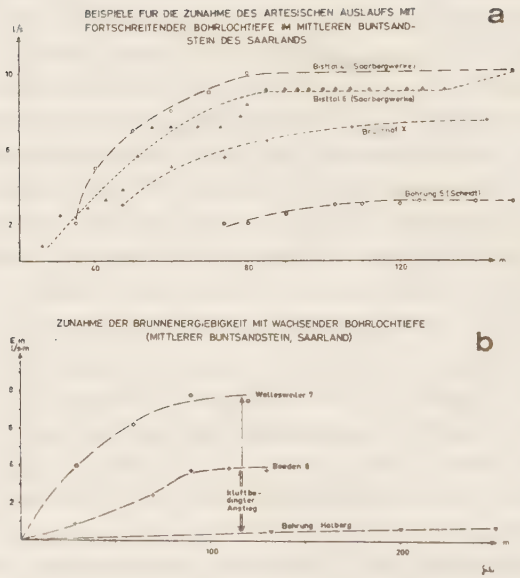

Abb: 11 Zunahme des artesischen Auslaufs und der spezifischen Ergiebigkeit mit wachsender Bohrlochtiefe im mittleren Buntsandstein des Saarlands.

- die Ergiebigkeitszunahme in etwa stetig erfolgt (zwischen 0 und 100 m), sodaß man den Klüften zur Tiefe hin ebenfalls bestimmte, wenig variierende Kluftweiten zurechnen muß.

Man wird daher den mittleren Buntsandstein i. allg. als streifenförmig gleichmäßig geklüftet bezeichnen dürfen (vgl. auch S. 45).

Auch die Bohrungen, die in größerer Tiefe Konglomerate durchteuft haben, zeigen ab 100 m Bohrlochtiefe keinen nennenswerten Ergiebigkeitszuwachs mehr; dies kann den Bohrungen Hufe 7 und bedingt Hufe 1 (Stadtwerke Völklingen, im Warndt), die ab 80 m Tiefe bis zur Endteufe (rund 140 m) ein Konglomerat durchfahren haben, ebenso wie der Bohrung Drahtzuweiher (Stadtwerke Saarbrücken) entnommen werden. Dies mag daher rühren, daß die Konglomerate meistenteils stark ungleichkörnig sind und sich in ihrer Wasserführung nicht wesentlich von den übrigen Schichten des mittleren Buntsandsteins zu unterscheiden brauchen.

Nur in ganz wenigen Ausnahmefällen können unter 100 m Tiefe unter Flur noch stark wasserführende Klüfte angetroffen werden (Bohrung Ixheim 1 und 2, Stadtwerke Zweibrücken).

Weitere, indirekte Möglichkeiten die Aussage zu bekräftigen, daß ab 100 m Bohrlochtiefe keine wesentlichen Wasserzuflüsse mehr zu erwarten sind, sind folgende:

- Bohrungen mit sehr tiefem Wasserstand bzw. Bohrungen, die den mittleren Buntsandstein erst in sehr großer Tiefe angetroffen haben (der überlagernde obere Buntsandstein und Muschelkalk bilden echte Grundwasserstockwerke, die durch die Verrohrung abgesperrt werden können) müßten sehr geringe spezifische Ergiebigkeiten aufweisen. Tab. 3 zeigt, daß die spezifische Ergiebigkeit dieser Bohrungen unabhängig von der Tiefe der Bohrungen, tatsächlich unter 0,5 l/s·m und damit unter der normalen Ergiebigkeit der Bohrungen liegen.

- Die Bliestalbohrungen zwischen Einöd und Herbitzheim, die auf durchschnittlich 400 m Tiefe niedergebracht wurden, können durchaus die gleiche spezifische Ergiebigkeit wie die normal ergiebigen Bohrungen aufweisen, die nur eine Tiefe von 100 m zu erreichen brauchen (Tab. 4). Da diese Bohrungen mehr oder weniger gleichmäßig über das Bliestal verstreut liegen, gibt es keinen Anlaß, an eine lokale Erscheinung im Bliestal zu denken.

Tab: 3 Spezifische Ergiebigkeiten von Bohrungen mit großer Verrohrungstiefe bzw. mit sehr tiefer Lage des Grundwasserspiegels

Bohrung	Tiefe in m	Verrohrungstiefe in m	Spiegellage u. Fl. in m	E in l/s.m
Rubenheim	115	80	-	0,11
Bliesmengen Bolch.	?	90	-	0,12
Kl.Blitterdorf Sauerwies	148	80	-	0,25
Kl.Blittersdorf Maierwies	270	170	-	0,46
Kl.Blittersdorf Bemmelwies	320	170	-	0,67
Ormesheim I	130	58	-	0,38
Kurz, Breitenberg	120	-	77	0,11
Selzer, Breitenberg	120	-	78	0,30
Sonnenberg 2	200	-	114	0,50
Univers. Saarbrükken	212	-	79	0,55

Tab. 4: Bohrungen aus dem Bliestal, die im Bereich der normal ergiebigen Bohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlands liegen.

Bohrung	Endtiefe in m	E in l/s·m
Einöd 4	400	1,27
Wattweiler 1	405	1,26
Wattweiler 2	402	1,34
Webenheim 1	400	1,24
Webenheim 2	360	1,59
Webenheim 3	?	1,80
Wolfersheim 1	482	1,52
Herbitzheim	500	1,73

- Bohrungen mit artesischem Auslauf zeigen beim Abteufen ab 100 m Tiefe eine auffällig geringe Zunahme der auslaufenden Wassermenge (Abb. 11 a).

2.4 Zur Frage des zunehmenden artesischen Auslaufs mit fortschreitender Bohrlochtiefe.

Die spezifische Ergiebigkeit eines Brunnens wächst mit der Tiefe der Bohrung; in gleicher Weise ist die Zunahme des artesischen Auslaufs mit wachsender Tiefe zu sehen. Der artesische Auslauf stellt praktisch einen Dauerpumpversuch dar, bei dem in den vorliegenden Fällen die Steighöhe des Wasserspiegels über Flur (sie entspricht der Absenkung in Bohrungen ohne artesischen Auslauf) allerdings unbekannt ist. Die Zunahme des artesischen Auslaufs und der spezifischen Ergiebigkeit mit fortschreitender Bohrlochtiefe müssen daher gleichsinnig verlaufen (Abb. 12). Diese Erscheinung haben DRUMM (1942) und SEMMLER (1955) behandelt, doch ist ihre Erklärung unbefriedigend, da sie die Fließvorgänge ausschließlich mit der Schichtneigung in Verbindung setzen, die für die Grundwasserzirkulation zu den Vorflutern jedoch praktisch keine Rolle spielt.

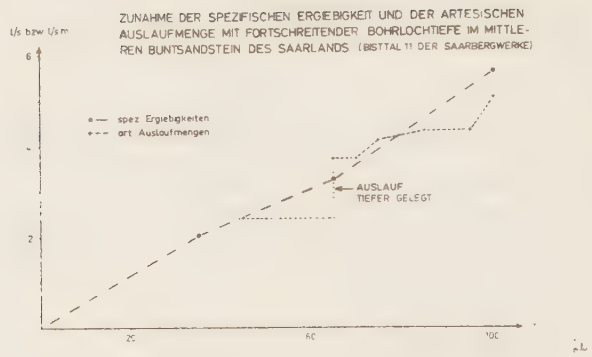

Abb: 12 Beispiel für die Zunahme des artesischen Auslaufs und der spezifischen Ergiebigkeit in Abhängigkeit von der Bohrlochtiefe.

Es muß unterschieden werden zwischen der Zunahme des artesischen Auslaufs

A. bei gleichbleibender Druckspiegelhöhe und

B. aufgrund der Erhöhung des Druckspiegels.

Fall A dürfte vor allem bei Brunnentiefen zwischen 0 und 100 m zu beobachten sein, da die artesische Auslaufmenge i. allg. stetig mit der Tiefe zunimmt (Abb. 11a, Bohrung Bisttal 4) und auch die Bohrungen ohne artesischen Auslauf, mit wenigen Ausnahmen, keine nennenswerten Schwankungen des Wasserspiegels zeigen.
Fall B ist vor allem in Tiefen ab 100 m zu beobachten, zumal die spezifischen Ergiebigkeiten ab diesen Tiefen keinen nennenswerten Zuwachs mehr erfahren.

Die Grundwasserfließrichtung ist in allen Tiefen des Grundwasserträgers, ausgenommen Quellstockwerke über Vorfluterniveau, stets von der Wasserscheide zum Vorfluter hin gerichtet. Aus theoretischen Gründen kann kein Wasser gemäß der Schichtneigung vom einen zum anderen Vorfluter unter der Wasserscheide hindurch fließen. So kann nachgewiesen werden, daß die aus dem unterirdischen Abfluß und der Fördermenge bestimmte Versickerungsrate für das unterirdische Einzugsgebiet des Scheidterbachs ebenso groß ist, wie für ein Teileinzugsgebiet des Scheidterbachs (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968).

Aufgrund dieser Tatsachen müssen die Potentialflächen zu denen die Fließlinien senkrecht verlaufen, aus ihrem annähernd senkrechten Verlauf im Bereich der Wasserscheide auf Vorfluterniveau zu einem mehr horizontalen Verlauf umbiegen. Das hat zur Folge, daß in Bohrungen auf Vorfluterniveau der Wasserspiegel mit dem Abteufen der Bohrungen langsam ansteigen muß. Bei einer ausgeprägten Stockwerksgliederung erfolgt dieser Anstieg sprunghaft. Im Bereich zwischen 0 und 100 m Tiefe ist diese Beobachtung im saarländischen mittleren Buntsandstein nur schwer zu machen, da hier aufgrund der stärkeren Profildifferenzierung durch die Klüfte Schwankungen in der Lage des Wasserspiegels auftreten können. Da ab 100 m Tiefe im wesentlichen nur noch die Fließvorgänge im Porenraum eine Rolle spielen, muß das Umbiegen der Potentialflächen hier beobachtbar sein; es sei denn, die Gesteinssäule über dem Grundwasserspiegel kann den Anstieg der Wassersäule auffangen. (Beim Einbringen der Verrohrung kann bisweilen beobachtet werden, daß der Wasserspiegel ansteigt). Unter 23 auswertbaren Bohrungen zeigen ab 100 m Tiefe nun tatsächlich 14 Bohrungen einen Anstieg und drei Bohrungen eine konstante Lage des Wasserspiegels mit fortschreitender Bohrlochtiefe; bei 6 Bohrungen liegt eine schwache Abwärtstendenz vor. Hieraus wird auch verständlich, daß im Bereich Einöd die 150 m tiefen Bohrungen keinen artesischen Auslauf zeigen, während die nahegelegenen 300 - 400 m tiefen Bohrungen artesisch auslaufen. Wenn sich die spezifischen Ergiebigkeiten der flachen und tiefen Bohrungen trotzdem kaum voneinander unterscheiden, so muß daraus geschlossen werden, daß die Beweglichkeit des Grundwassers zur Tiefe hin abnimmt.

Die sechs Bohrungen mit schwach abfallendem Wasserspiegel ab 100 m Tiefe legen die Vermutung nahe, daß in diesen Tiefen noch vereinzelte, drainierende Klüfte mit vergleichsweise niedrigem piezometrischen Niveau auftreten, die beim Anbohren als Abflußbahnen dienen können. Bohrung 2, am Wasserwerk Wieschbachtal soll z.B. in 140 m Tiefe Klüfte angefahren haben, die ein sehr starkes Absinken des Wasserspiegels zur Folge gehabt haben, sodaß die Förderung in Frage gestellt war. Die Bohrung wurde bis auf 120 m Tiefe wieder zubetoniert, worauf der Wasserspiegel seine ursprüngliche Höhe erreichte.

Wenn in den Bohrungen Halberg, Papierfabrik Wörschweiler, der Gemeinde Einöd, bei St. Arnual (nach KEILHACK, 1933) und im Raum Kleinblittersdorf der Wasserspiegel mit der Bohrlochtiefe ansteigt, so werden in diesen Bohrungen weder eine besonders wasserreiche Schicht, noch eine große Wassermenge in der Tiefe erschlossen; sonst müßten die Werte für die spezifischen Ergiebigkeiten einen deutlichen Anstieg erkennen lassen.

2.5 Die Basis des Wasserträgers

In welcher Tiefe der Übergang vom schwach zirkulierenden zum stagnierenden Grundwasser erfolgt, kann nicht belegt werden. Wo die Basis des Wasserträgers sehr tief liegt, wird er sich kontinuierlich und nicht abrupt vollziehen. Vermutlich finden ab 250 - 300 m Tiefe unter Vorfluterniveau keine meßbaren Fließvorgänge mehr statt.

Die Dreiteilung des Grundwasserträgers, in einen Bereich mit stark kluftbedingter Grundwasserzirkulation, (bis 100 m Tiefe), gefolgt von einem Bereich, in dem die Grundwasserzirkulation vorwiegend durch den Porenraum bestimmt wird und einen Bereich mit stagnierendem Grundwasser, läßt die Frage nach dem Vorhandensein einer abdichtenden Sohlschicht (in den Gebieten, die keine übertieften Bohrungen haben) in einem anderen Licht als bisher erscheinen. Wo der mittlere Buntsandstein mehr als 250 - 300 m Mächtigkeit erreicht, ist eine abdichtende Sohlschicht wohl kaum erforderlich, da die natürlichen Potentialgefälle nicht ausreichen, eine Grundwasserströmung aufrecht zu erhalten.

Bei Buntsandsteinmächtigkeiten zwischen 100 - 250 m können beim Fehlen einer abdichtenden Sohlschicht keine großen Wassermengen in die unterlagernden Schichten abwandern, da die Fließgeschwindigkeiten im porösen Medium zu klein sind und die Klüfte unter natürlichen Bedingungen nicht mehr als Drainagewege dienen. Bei Restmächtigkeiten des mittleren Buntsandsteins von 0 - 100 m können, bedingt durch die hohen Fließgeschwindigkeiten in den Klüften und deren häufiges Auftreten (s.S. 61), ganz erhebliche Wassermengen in die unterlagernden Schichten abgeführt werden. Hier ist eine abdichtende Sohlschicht unbedingt erforderlich, wenn der Versickerungsanteil von 11 l/skm^2 (im Raum Saarbrücken - Wellesweiler (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968) voll gewinnbar sein soll. Diese abdichtende Sohlschicht (Grenzletten) ist im Arbeitsgebiet an der Buntsandsteinbasis auch immer aufgefunden worden (in Wellesweiler, Spieser-Mühle, St. Ingbert, Rentrisch und Saarbrücken). Nur in Bergbaugebieten kann dieser Grenzletten verletzt werden; dies ist für die Wassergewinnungsgebiete östlich von Saarbrücken nicht der Fall.

3. Der poröse Buntsandstein als Grundwasserspeicher.

Die Klüfte spielen, wie gezeigt, als Zirkulationsmedium mit Sicherheit eine Rolle. Bevor jedoch auf die Frage nach dem quantitativen Anteil der Klüfte an der Grundwasserzirkulation eingegangen werden soll, muß ein Blick auf die Bedeutung des Porenraums als Zirkulationsmedium geworfen werden.

Wie Verdünnungsversuche im porösen und klüftigen Buntsandstein bei ruhendem Förderfeld (dazu wurde die Förderung im Hirschbachtal für zwei Wochen stillgelegt) zeigen (Tab: 5), treten zwischen beiden Zirkulationsmedien ganz erhebliche Unterschiede in den Filtergeschwindigkeiten auf, die in den natürlichen (wahren) Fließgeschwindigkeiten noch stärker zum Ausdruck kommen, da das nutzbare Hohlraumvolumen des porösen Mediums etwa 10-mal größer ist als in den Klüften (s.S. 84), sodaß sich die tatsächlichen Fließgeschwindigkeiten im Poren- und Kluftraum wie 1 : 10 000

verhalten können. Man darf also auch erwarten, daß sich diese Unterschiede in der Schnelligkeit der Reaktion des Grundwasserträgers auf das Sickerwasserdargebot wiederspiegeln; sie äußert sich in den Schwankungen

- des unterirdischen Abflusses in den Vorflutern und
- des Wasserspiegels in den Bohrungen.

Tab: 5 Horizontale Filtergeschwindigkeiten bei ruhendem Förderfeld (Hirschbachtal), wie sie aus Verdünnungsversuchen berechnet werden können. (Nr. der Bohrungen siehe Abb. 16).

	v_f in 10^{-5} cm/s in einer Entnahmetiefe von			
Bohrung	1 m	10 m	20 m	30 m
aB 19	-	4,60	2,58	4,50
PB 1	-	6,05	?	6,25
PB 2	-	77,00	86,00	-
PB 3	2180	-	-	-

3.1 Der unterirdische Abfluß im Scheidtertal

Der Scheidterbach ist heute im wesentlichen nur noch im Raum St. Ingbert-Rohrbach echter Vorfluter (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968). Hier ist die Förderung über den Zeitraum 1959 - 1967 praktisch konstant geblieben und beträgt rund 30 % des Grundwasserdargebots. Südlich St. Ingbert fließen dem Scheidterbach praktisch nur noch Abwässer zu, die in ihrer Menge als konstant angesehen werden dürfen, sodaß die Schwankungen des unterirdischen Abflusses, die am Schreibpegel Schafbrücke registriert werden, die wechselnden Sickerwasserdargebote im Raum St. Ingbert widerspiegeln.

In Abb. 13 ist dem unterirdischen Abfluß (A_u) des Scheidterbachs (in den hydrologischen Halbjahren) der unterirdische Abfluß des Fechingerbachs, eines Muschelsandsteingebiets, in dem die Grundwasserzirkulation ganz überwiegend auf Klüften erfolgt, gegenübergestellt. In beiden Fällen ist der unterirdische Abfluß nach

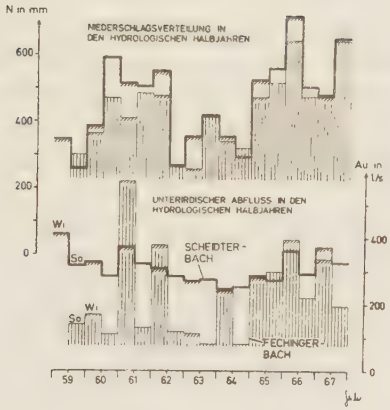

Abb: 13 Vergleich des unterirdischen Abflusses zwischen Scheidterbach und Fechingerbach.

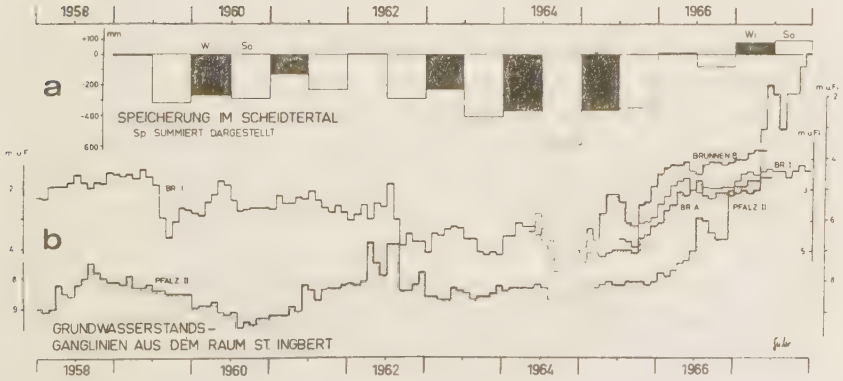

Abb: 14 Vergleich zwischen der Speicherung und dem Verlauf der Grundwasserstandsganglinien im Scheidterbach.

der Methode von NATERMANN (1951) bestimmt worden, wobei die Au-Linie ohne größeren Fehler gezogen werden kann. (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968).

Abb. 13 macht deutlich, daß die Schwankungen des unterirdischen Abflusses im mittleren Buntsandstein (Scheidterbach), gegenüber einem Gebiet mit fast reinem Kluftwasser (Fechingerbach) sehr stark gedämpft sind. Diese Unterschiede treten dann noch stärker in den Vordergrund, wenn man berücksichtigt, daß die mittlere Grundwassererneuerung im Scheidtertal bei 11 $l/s \cdot km^2$ und im Fechingerbachtal nur bei 7,8 $l/s \cdot km^2$ liegt (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968) und die unterirdischen Einzugsgebiete, für die die beiden Bäche Vorfluter sind, etwa gleich ausfallen (Scheidterbach im Raum St. Ingbert rund 30 km^2, Fechingerbach rund 35 km^2). - Weiter zeigt Abb. 13, daß nach dem Zeitabschnitt 1959 - 1964, in dem starke Niederschlagsdefizite vorliegen, die Auffüllung des mittleren Buntsandsteins aus den kräftigen Niederschlägen von 1965 - 67 offensichtlich noch nicht abgeschlossen ist, während der unterirdische Abfluß im Fechingerbach, trotz gleicher Niederschlagsverteilung in beiden Einzugsgebieten, seit Sommer 1967 wieder eine rückläufige Tendenz aufweist. Offensichtlich gelangt das Sickerwasser im mittleren Buntsandstein mit einer gewissen Verzögerung zum Vorfluter.

Der Vergleich des mittleren unterirdischen Abflusses zwischen hydrologischem Winter- und Sommerhalbjahr zeigt besonders im Einzugsgebiet des Fechinger Bachs stärkere Schwankungen für das Winter- als für das Sommerhalbjahr (Abb. 13). Deshalb kann man für den mittleren Buntsandstein annehmen, daß ein Teil des Sickerwasserdargebots über die Klüfte sofort und über den Porenraum mit einer gewissen Verweildauer dem Vorfluter zugeführt wird, d.h., dem unterirdischen Abfluß scheint eine "Grundschüttung" aus dem Porenraum zugrunde zu liegen, der eine aus dem Kluftraum stammende Schüttung überlagert ist (Abb. 15). Diese Trennung zwischen "Kluft"- und "Grundschüttung" kann natürlich nicht exakt gezogen werden. Es läßt sich daher nur vermuten, daß rund 30 % des Grundwasserdargebots über Klüfte und rund 70 % über den Porenraum dem Vorfluter zufließen.

Der poröse Buntsandstein mit seinen vergleichsweise kleinen Filtergeschwindigkeiten bildet offensichtlich einen hervorragenden Grundwasserspeicher, der den unterirdischen Abfluß dämpft.

3.2 Grundwasserstandsganglinien und Speicherung im Raum St. Ingbert, Scheidtertal.

In Abb. 14 sind einigen Grundwasserstandsganglinien die jeweiligen errechneten Speicherungsbeträge gegenübergestellt. Hierbei wird die Grundwasserspeicherung (Sp) über die korrigierte potentielle Verdunstung Vpk und den gemessenen unterirdischen Abfluß (A_u) berechnet (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968).

$$Sp = (N - A_o - V_{pk}) - (Au + Ga)$$

(N = Niederschlag; A_o = oberirdischer Abfluß; Ga = Grundwasserförderung und -Ableitung für Fremdgebiete).

Der Verlauf der Ganglinien in Abb. 14 stellt keine lokale Besonderheit dar, sondern zeigt sich im Limbachtal (ARBAB, 1968) und im Raum Homburg in ähnlicher Weise.

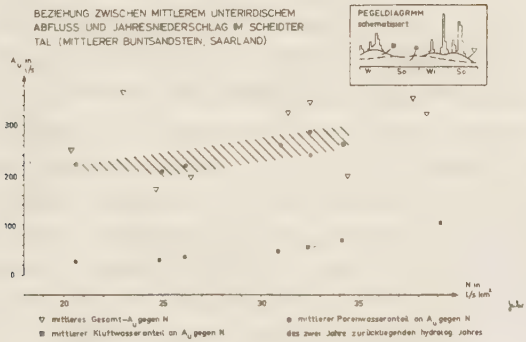

Abb. 15 Versuch der Trennung eines Kluft- von einem Porenwasseranteil im unterirdischen Abfluß des Scheidterbachs.

Nach den Jahren 1959 - 64, in denen mehr Grundwasser aufgebraucht als erneuert wurde, setzt mit dem hydrologischen Winterhalbjahr 1965 eine kräftige Grundwassererneuerung ein. Der Grundwasserspiegel (Abb. 14) verhält sich 1965 jedoch zunächst indifferent und beginnt erst im Sommerhalbjahr 1965 bzw. an der Wende 1965/66 langsam anzusteigen (alle Bohrungen stehen auf

Vorfluterniveau). Hiervon ausgenommen ist der Brunnen B, der aufgrund seiner hohen spezifischen Ergiebigkeit (um 10 l/s·m) im stark klüftigen Buntsandstein stehen muß und auf das Niederschlagsangebot von 1965 sofort reagiert. Die starke Speicherung im Winterhalbjahr 1966 ist in den Ganglinien kaum wiederzuerkennen; es ist anzunehmen, daß sie sich mit dem Spiegelanstieg von 1965 überlagert und nach 1966 den langsamen Spiegelanstieg in den Brunnen bedingt. (Der Spiegelanstieg von Bohrung Pfalz II, im Jahre 1967, ist durch die starke Drosselung der Förderung im Spieser-Mühlengebiet von 5,1 Mio. m^3 im Jahre 1966 auf 3,4 Mio. m^3 im Jahre 1967 verursacht). Auch hieraus darf abgeleitet werden, daß der versickerte Niederschlagsanteil nur sehr langsam dem Vorfluter zufließt.

Vergleicht man den Grundwasserspiegelanstieg im Zeitraum 1965 - 67 (in den Bohrungen St. Ingbert und Spiesermühle) mit der Größe der Speicherung im selben Zeitraum (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968), so hat sich

- bei einem angenommenen nutzbaren Hohlraumvolumen von 15 % die Speicherung der letzten 1,5 Jahre und
- bei einem angenommenen nutzbaren Hohlraumvolumen von 8 % die Speicherung der letzten 2,5 Jahre

in den Bohrungen noch nicht bemerkbar gemacht. Da das nutzbare Hohlraumvolumen des mittleren Buntsandsteins eher bei 8 % (s.S. 86) liegt, beträgt im Scheidtertal die Verweildauer des Sickerwassers auf seinem Weg zum Vorfluter maximal etwa 2 Jahre. Innerhalb der Zeitspanne zwischen 0 und 2 Jahren kann die Verweildauer des Sickerwassers im Gestein, in Abhängigkeit von der Klüftigkeit, jeden beliebigen Wert annehmen.

4. Häufigkeit des Auftretens von Bohrungen, die Klüfte angetroffen haben.

Die spezifischen Ergiebigkeiten sind in gleicher Weise Ausdruck der Durchlässigkeit des porösen wie des klüftigen Mediums. Für praktische Fragen wäre es daher interessant, etwa den Wert zu finden, von dem ab die Klüftigkeit zum ersten Mal in der spezifischen Ergiebigkeit (bei Bohrungen von mindestens 100 m Tiefe)

zum Ausdruck kommt.

Wenn von Klüftigkeit gesprochen wird, so werden darunter keine Haarklüfte oder Klüfte mit minimaler Reichweite verstanden, sondern solche, die ein mehr an Grundwasser den Bohrungen zuführen und eine Deformierung der Absenktrichter zu elliptischen oder anderen komplizierteren Formen bedingen.

Hierfür Berechnungsmethoden durchzuführen, bietet Schwierigkeiten, da bei den Pumpversuchen die Absenkung des Ruhewasserspiegels i. allg. nur in der Förderbohrung bestimmt wird und bei anderen Berechnungsmethoden zu viele Voraussetzungen getroffen werden müssen. Es soll daher auf verschiedene Beobachtungen zurückgegriffen werden.

a. Es besteht die Möglichkeit, aus der Deformation der Absenktrichter zu elliptischen Formen, Aufschlüsse zu erhalten:

   - Bohrung 4 (Wellesweiler Abb. 16) mit E = 0,45 l/s.m zeigte (nach Einbringen der Verrohrung) keine Deformation des Absenktrichters. Diese Beobachtungen beziehen sich auf 4 tiefe Peilbohrungen und 8 Flachbohrungen (HEITELE, 1968) im Umkreis von Bohrung 4. Bohrung 4 ist 68 m tief und würde aufgrund der linearen Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit mit der Tiefe bei 100 m Bohrlochtiefe E = 0,7 l/s.m erreichen.

   - In der Bohrung Spieser Mühle III (Saarbergwerke, E = 0,77 l/s.m) wurde ein Pumpversuch gefahren und die Absenkung des Ruhewasserspiegels in 3 umliegenden Bohrungen bestimmt. Dabei senkten sich zwei 30 m entfernte Bohrungen bei einer Förderung in Spieser Mühle III von 15 l/s nur 30 cm ab, während eine dritte, 120 m entfernt gelegene Bohrung den Ruhespiegel um rund 2 m absenkte.

   - Für die spezifische Ergiebigkeit von Brunnen 8 (Rentrisch) kann nur ein Maximalwert angegeben werden, da beim Pumpversuch die Absenkung von der Rohroberkante aus gemessen wurde, der Brunnen jedoch im Ruhestand artesisch auslief, sodaß die tatsächliche Absenkung größer war; E < 1,3 l/s.m. Brunnen 8 beeinflußt den 200 m entfernt gelegenen Brunnen 9 nicht (Richtung

- senkrecht zur Talachse), senkt aber den 250 m talaufwärts, in der Talachse gelegenen Ruhebrunnen 6 praktisch gleich stark ab, wie sich selbst.

In allen diesen Fällen kann durch die geologische Aufnahme wahrscheinlich gemacht werden, daß keine abdichtenden Störungen die Deformation der Absenktrichter bedingen.

b. Nach der Auswertung der Zunahme der spezifischen Ergiebigkeiten mit wachsender Bohrlochtiefe (s.S.46), reichen die Klüfte kaum tiefer als 100 m unter Flur hinab, sodaß jede weitere Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit ab dieser Tiefe Ausdruck der Durchlässigkeit des porösen Mediums ist. Im Mittel nimmt E ab 100 m Tiefe auf weitere 100 m Teufenzuwachs um 0,2 l/s·m (Maximum 0,5 l/s·m, Minimum 0 l/s.m) zu. Dieser Mittelwert liegt im Teufenbereich zwischen 0 und 100 m zweifellos höher, man wird ihn jedoch kaum größer als 0,5 l/s.m ansetzen dürfen.

c. Nach Abb. 10 dürften die Klüfte als Wasserlieferanten - je nach Einfallswinkel der Klüfte - unter E-Werten von 0,2 - 0,6 l/s·m keine Rolle mehr spielen.

d. Nach WORF (1962) und HEITELE (1968) erreichen die k_f-Werte im Festgestein des mittleren Buntsandsteins Maximalwerte von 10^{-3} cm/s, liegen jedoch in den meisten Fällen unter diesem Wert. Nach der Dupuit-Gleichung (s.S. 41) werden bei diesem maximalen k_f-Wert (für Brunnen, deren Wasserspiegel im Ruhezustand 0 - 20 m unter Flur liegt) spezifische Ergiebigkeiten zwischen 0,6 und 0,7 l/s·m erreicht.

Man wird daher im mittleren Buntsandstein des Saarlands bei spezifischen Ergiebigkeiten >0,5 l/s·m den Klüften als Wasserlieferanten eine Bedeutung zusprechen müssen; die Klüfte bedingen dabei eine Vergrößerung der Wassereintrittsfläche der Bohrungen, da sie kaum einen eigenen Speicherraum besitzen.

Nach der statistischen Auswertung über die Häufigkeitsverteilung der spezifischen Ergiebigkeiten beziehen demnach fast alle Bohrungen im mittleren Buntsandstein, die vorwiegend im Bereich der Vorfluter stehen, Wasser aus Klüften. Nur wenige Brunnen lassen

eine vergleichsweise minimale Förderung zu (Krankenhaus Rastpfuhl - E = 0,29 l/s.m, Coca Cola Saarbrücken - 0,41 l/s.m, Bohrung Aßweiler - 0,29 l/s.m) oder mußten wegen noch geringerer Leistung aufgegeben werden (Bohrung Kallenbrunnen, Bohrung Sengscheid). Diese Bohrungen stehen bzw. standen fast alle in den Trifels- und Rehbergschichten (nur Bohrung Aßweiler in den Karlstalschichten), die aufgrund ihrer petrographischen Ausbildung durchlässiger als die Karlstalschichten sein müßten (HEITELE, 1968). Andererseits kann über die spezifischen Ergiebigkeiten keine Charakterisierung der Karlstalschichten gegenüber den Trifels- und Rehbergschichten erreicht werden; vielmehr sind aus beiden Schichtkomplexen Bohrungen mit sehr hohen und sehr niedrigen E-Werten bekannt. - Man darf diesen Ergebnissen weiterhin entnehmen, daß im Bereich der Vorfluter die Klufthäufigkeit 0 Kl/m (s.S. 45) praktisch kaum vorkommen dürfte.

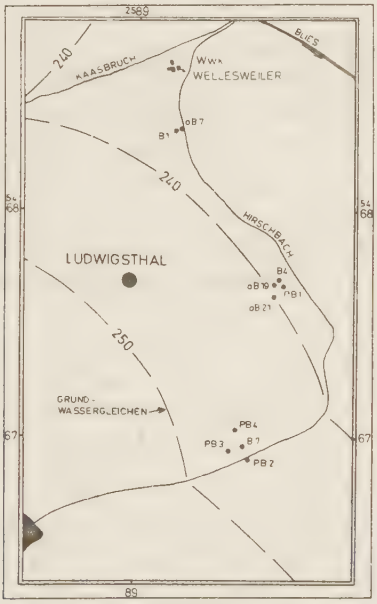

Abb. 16: Lageplan der Versuchsbohrungen im Wassergewinnungsgebiet Wellesweiler (Lage des Gewinnungsgebiets s. Abb. 1).

5. Verhalten der Fließgeschwindigkeiten im klüftigen- und porösen Medium in Abhängigkeit von der Bohrlochtiefe und der Fördermenge.

Bei der Neuerschließung des Wassergewinnungsgebiets Wellesweiler wurden an Bohrung 7 (E = 8 l/s.m, im klüftigen Medium) und Bohrung 4 (E = 0,45 l/s.m, im porösen Medium) vergleichende Verdünnungs- und direkte Färbversuche durchgeführt.

Bei den Direktfärbversuchen zwischen der Beobachtungsbohrung PB 3 und der Förderbohrung B 7 (Abb. 16) wurde PB 3 nur an dem Grundwasserspiegel eingefärbt, und die natürlichen Fließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Förderung aus B 7 und der Bohrlochtiefe von B 7 bestimmt (Abb. 17). Auffällig ist an diesen Ergebnissen, daß die natürlichen (wahren) Fließgeschwindigkeiten an der Grundwasseroberfläche allein von der Fördermenge in B 7, dagegen nicht von der Tiefe der Förderbohrung abhängen, sodaß das Kluftwassergefälle zwischen PB 3 und B 7 bei gleicher Fördermenge und unterschiedlicher Tiefe von B 7 als konstant angenommen werden muß. Andererseits nimmt die spezifische Ergiebigkeit von Bohrung 7 (Abb. 11) mit dem Tieferbohren zu, d.h., bei

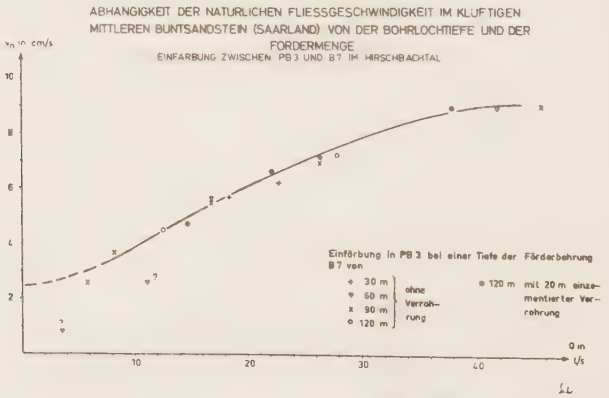

Abb. 17: Natürliche Grundwasserfließgeschwindigkeiten zwischen PB 3 und B 7 in Abhängigkeit der Fördermenge aus und der Bohrlochtiefe von B 7.

gleicher Fördermenge wird der Ruhewasserspiegel im tiefen Brunnen schwächer abgesenkt als im flachen Brunnen. Das Tieferbohren eines Brunnens muß dann - für gleiche Förderleistungen - eine fortschreitende Verringerung der Zuflußgeschwindigkeiten in der Tiefe der Bohrung bedingen; damit einher geht eine Verkürzung der Sickerstrecke (NAHRGANG, 1954).
Man könnte daran denken, daß die Länge der Sickerstrecke, die auch noch im vollkommenen Brunnen auftritt, eine Funktion der zunehmenden horizontalen Filtergeschwindigkeiten mit der Tiefe des Wasserträgers ist (s.S. 66).

Im porösen Medium allein wurden in den Bohrungen PB 1 und aB 19, die um Bohrung 4 (Hirschbachtal) stehen (Abb. 16), Verdünnungsversuche mit der gleichen Fragestellung für zwei verschiedene Teufen durchgeführt. Die in Tab. 6 mit ^{xx} angegebenen Werte stellen die bei einer Förderung von 3,2 l/s im 60 m tiefen Brunnen erwarteten horizontalen Filtergeschwindigkeiten dar, wenn man von den horizontalen Filtergeschwindigkeiten bei einer Förderung von 5 l/s (im 60 m tiefen Brunnen) und einer linearen Abnahme der Filtergeschwindigkeiten bis 3,2 l/s ausgeht.(Diese Werte sind sicher etwas zu hoch, da die Filtergeschwindigkeiten mit fallender Fördermenge schneller abnehmen als es bei einer linearen Abnahme der Fall ist). Es zeigt sich, daß die horizontalen Filtergeschwindigkeiten im flachen, 30 m tiefen Brunnen, in 20 m (= 17 m unter Ruhespiegel) und 30 m Entnahmetiefe höher liegen als im vollkommenen, 62 m tiefen Brunnen und daß in 10 m Entnahmetiefe die Unterschiede in den horizontalen Filtergeschwindigkeiten zwischen flachem und tiefem Brunnen minimal werden. Offensichtlich ist auch hier die horizontale Filtergeschwindigkeit im Bereich des Grundwasserspiegels allein von der Fördermenge abhängig.

In den Bohrungen aB 19, PB 1 und PB 2 wurden bei ruhendem Förderfeld die horizontalen Filtergeschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen und nach Fertigstellung der Förderbohrungen B 4 und B 7 (beides vollkommene Brunnen) in Abhängigkeit von der Fördermenge bestimmt (Tab. 7, Abb. 18).

Tab. 6: Verhalten der horizontalen Filtergeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tiefe der Förderbohrung B 4 (Hirschbachtal); nach Verdünnungsversuchen in PB 1 und aB 19.

Bohrung	Förderleist. in B 4 in l/s	Tiefe von B 4 in m	Filtergeschw. in 10^{-4} cm/s in der Entnahmetiefe von 10 m	20 m	30 m
aB			1,34*	0,77*	1,18*
	3,2	30	1,33	1,50	1,50
	5,0	62	2,06	1,20	1,84
PB 1			0,64*	0,45*	0,36*
	3,2	30	0,72	0,96	0,75
	5,0	62	0,99	0,70	0,57

* siehe Text.

Tab. 7: Zunahme der horizontalen Filtergeschwindigkeiten in den Beobachtungsbohrungen PB 2 sowie PB 1 und aB 19 in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe und der zunehmenden Förderung in Bohrung 7 sowie Bohrung 4, bei konstanter Bohrlochtiefe (Wellesweiler).

Bohrung	Förderung in l/s	v_f in 10^{-4} cm/s in den Entnahmetiefen von 10 m	20 m	30 m
PB 2 (bei B 7)	0	7,7	8,6	-
	20	14,0	19,8	-
aB 19 (bei B 4)	0	0,46	0,26	0,45
	5	2,06	1,20	1,84
	7,8	3,89	2,18	2,14
	10	4,64	5,12	?
PB 1 (bei B 4)	0	0,61	?	0,63
	5	0,99	0,70	0,60
	7,8	1,64	1,72	1,39
	10*	1,36	1,24	0,80

* bei diesen Werten wirkt sich die Verrohrung hemmend aus.

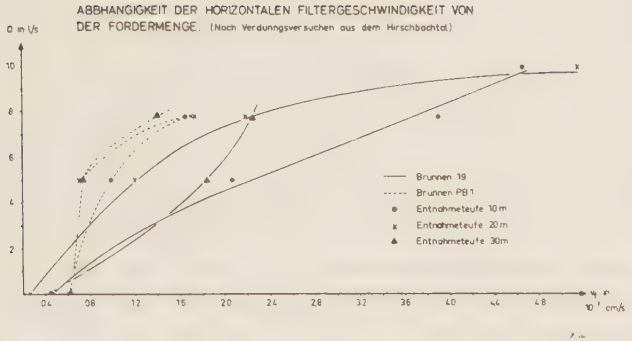

Abb. 18: Zunahme der horizontalen Filtergeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe und der zunehmenden Förderung in B 4; nach Verdünnungsversuchen in PB 1 und aB 19 (Wellesweiler).

Eine Abhängigkeit der horizontalen Filtergeschwindigkeit von der Lage des abgesenkten Ruhewasserspiegels in der Förderbohrung ist nicht zu erkennen (NAHRGANG, 1954). Generell zeigt sich, daß die horizontalen Filtergeschwindigkeiten mit steigender Förderleistung zur Tiefe hin stärker zunehmen als im Bereich des Grundwasserspiegels (Bohrung 4 und 7 sind vollkommene Brunnen), d.h. die Potentialflächen müssen sich mit steigender Förderung zur Tiefe hin stärker zusammenlegen als im Bereich des Grundwasserspiegels. Wenn dies der Fall ist, so müssen in den Beobachtungsbohrungen auch entsprechende Spiegelschwankungen festzustellen sein. Bei einer ganzen Reihe von Peilbohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlans steigt der Wasserspiegel nach dem Einschalten der Förderbohrung zunächst an (z.B. in Bohrung 15 und 16 bei Spieser Mühle III, in Bohrung R 4 auf dem Förderfeld St. Ingbert, in Bohrung Wellesweiler 22) und kann dann eine normale Absenkungstendenz zeigen. Umgekehrt konnte auch in Wellesweiler und Bohrung St. Ingbert beobachtet werden, daß nach dem Abschalten der Förderbohrung in den Peilbohrungen

der Wasserspiegel wieder langsam abfällt.

Diesen Beobachtungen dürften zwei Erscheinungen zugrunde liegen. Einerseits werden die Potentialflächen mit Beginn der Förderung zur Tiefe hin stärker zur Förderbohrung hin verschoben als im Bereich des Grundwasserspiegels (in R 4 steigt der Wasserspiegel um 30 cm an, wenn Bohrung A eingeschaltet wird und fällt erst wieder mit dem Abschalten der Förderbohrung), und andererseits bewirkt die Ausbreitung des Absenktrichters eine Entwässerung der Gesteinssäule, sodaß es zu einem langsamen Abfallen des Wasserspiegels kommt. Da diese Beobachtungen durchaus nicht in allen Peilbohrungen gemacht werden können, muß angenommen werden, daß sie von folgenden Gegebenheiten abhängen:

- wie schnell der aufsteigende Wasserspiegel mit der Ausbreitung des Absenktrichters zur Interferenz kommt,
- ob die Bohrung in der direkten Einzugsbahn der Förderbohrung steht (durch die Klüfte werden die Absenktrichter stark in Kluftrichtung gestreckt),
- ob der Anstieg der Wassersäule durch die Gesteinssäule über dem Wasserspiegel abgefangen werden kann und
- wie tief die Beobachtungsbohrungen in den Wasserträger hineinreichen.

Ob die Fließgeschwindigkeiten eventuell nur in bestimmten Tiefen besonders stark zunehmen, muß allerdings offen bleiben und wird für den mittleren Buntsandstein auch schwer nachzuweisen sein, da er in sich inhomogen ist.

5.1 Zur Frage des Auftretens turbulenter Strömung im klüftigen Medium.

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Förderung und der Bohrlochtiefe im klüftigen und porösen Medium läßt den Schluß zu, daß beiden Fließvorgängen ähnliche Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen. Geht man von der allgemeinen Form des Darcy'schen Gesetzes

$$v = k \cdot i^{\lambda}$$ aus,

so wird bei laminarer Strömung im Grundwasserträger $\lambda = 1$; dies ist z.B. bei Bohrung 4 (Wellesweiler) der Fall, die ihr Wasser ausschließlich aus dem porösen Medium bezieht.

Bei einer Förderung von 45 l/s in Bohrung 7 (der Kluftbohrung), beträgt die höchste gemessene Zuflußgeschwindigkeit von PB 3 nach B 7 9,2 cm/s und zwischen PB 4 und PB 7 6,7 cm/s (Abb. 16 und 17). Wie Kluftmessungen im Bereich der Bohrung 7 anzeigen, wird sie mit PB 3 und PB 4 über Klüfte direkt verbunden, sodaß die kürzeste Entfernung zwischen PB 3 und B 7 sowie PB 4 und B 7 der tatsächlich durchflossenen Wegstrecke entspricht. Abb. 17 zeigt weiterhin, daß die auf 20 m Tiefe einzementierte Verrohrung keine Verringerung der Zuflußgeschwindigkeiten bedingt, sodaß die Klüfte sicher tiefer als 20 m reichen, Andererseits ist der Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit mit wachsender Bohrlochtiefe zu entnehmen, daß B 7 bis 100 m Tiefe von Klüften gespeist wird, in größeren Tiefen hingegen nicht mehr.

Es soll angenommen werden, daß die geförderte Wassermenge Q = 45 l/s aus nur 4 Klüften (entsprechend zwei Kluftrichtungen) der Bohrung 7 zufließen, die bis z = 100 m Tiefe reichen. Bei einer Absenkung des Wasserspiegels um 13 m unter Flur verringert sich die durchflossene Klufttiefe auf z' = 87 m. Unter der Annahme, daß die Klüfte auf der gesamten Tiefe gleichmäßig durchflossen werden besteht nun die Möglichkeit, aus der Beziehung

$$v \cdot F = Q \qquad (1)$$

die zu erwartende Kluftweite b aus deren Zuflußfläche F zu bestimmen.

$$F = 4 \; z' \cdot b$$

Entsprechend wird Gleichung (1) zu

$$b = \frac{Q}{4 \cdot z' \cdot v}$$

$$b = \frac{45\,000}{9{,}2\,(8700) \cdot 4}$$

$$b = 0{,}141 \text{ cm}.$$

Ausgehend von dem nutzbaren Kluftvolumen, läßt sich für den

Kluftstrang zwischen PB 3 und B 7 (s.S. 87) bei einem Bohrlochdurchmesser von PB 3 von 125 mm eine Kluftweite von

$$b = 0{,}095 \text{ cm}$$ berechnen.

Die Unterschiede in diesen beiden Kluftweiten sind z.T. dadurch bedingt, daß im ersten Fall die an der Grundwasseroberfläche gemessene Fließgeschwindigkeit mit der mittleren Fließgeschwindigkeit in den Klüften gleichgesetzt wurde, die Fließgeschwindigkeiten jedoch zur Tiefe hin zunehmen, sodaß $b = 0{,}141$ cm einen zu hohen Wert darstellen muß.

Als Maß für die Beurteilung, ob turbulente oder laminare Strömung vorliegt, gilt die Reynold'sche Zahl

$$Re = \frac{4 R v}{\nu}$$

($R = \frac{F}{U}$ = hydraulischer Radius, F = Fläche, U = Umfang, v = Fließgeschwindigkeit, ν = kinematischer Zähigkeitskoeffizient).

Für den vorliegenden Fall wird

$$R = \frac{z' \cdot b}{(z' + b).2}$$

Da b sehr klein gegenüber z' ist, kann

$$R = \frac{b}{2}$$ geschrieben werden, sodaß

sich die Gleichung für die Reynold'sche Zahl, nach b aufgelöst, zu

$$b = \frac{\nu \, Re}{2 \, v}$$ ergibt.

In ihr ist, für Wasser von 9° C der kinematische Zähigkeitskoeffizient

$$\nu = 1{,}31 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}.$$

Nach WIEST (1966) darf die Reynold'sche Zahl den Wert 5 bzw. 6 nicht überschreiten. Bei höheren Werten tritt, neben laminarer, turbulente Strömung und ab Re = 60 nur noch turbulente Strömung auf. Für Re = 5 und eine Fließgeschwindigkeit von 9,2 cm/s errechnet sich dann eine Kluftweite von

$$b = \frac{1{,}31 \cdot 5}{9{,}2 \cdot 2}$$

$$b = 0{,}356 \text{ cm}.$$

Dieser Wert liegt über den bestimmten Werten für den mittleren Kluftabstand (0,095 - 0,141 cm). Selbst, wenn man davon ausgeht, daß die Kluftwände nicht streng parallel zueinander verlaufen, ist die Wahrscheinlichkeit gering, daß es zu turbulenter neben laminarer Strömung kommt.

Für die Frage, in wie weit dieses Ergebnis für die Verhältnisse des saarländischen mittleren Buntsandsteins verallgemeinert werden darf, lassen sich beim jetzigen Stand der Arbeit nur Andeutungen machen. Dazu ist es erforderlich:

- weitere Geländeversuche, kombiniert mit Laborversuchen durchzuführen, und
- die Frage zu prüfen, in wie weit den Klüften in der Horizontalen (also von Bohrung zu Bohrung) und in der Vertikalen bestimmte, wenig variierende Kluftweiten zugeordnet werden können.

Zum letzten Punkt können, aufgrund der vorliegenden Untersuchungen, einige Angaben gemacht werden. So ist es möglich, eine direkte Beziehung zwischen Klufthäufigkeit und spezifischer Ergiebigkeit herzustellen (s.S.45), sodaß man in der Horizontalen für einen Großteil der Klüfte mit wenig variierenden Kluftweiten rechnen darf; vergleicht man hierzu die Angaben über Kluftvolumina von HEITFELD (1965) aus dem Sauerland, so sind auch hier die Kluftvolumina in vergleichbaren Tiefenbereichen nicht stark variierend. HEITFELD (1965) und EISSELE (1966) geben hingegen zur Tiefe hin abnehmende Kluftvolumina an. In den oberflächennahen Schichtbereichen ist, aufgrund des starken Einflusses der Verwitterung, sicher mit erhöhten Kluftvolumina zu rechnen, zu denen noch eine starke Differenzierung wegen der unterschiedlichen Sprödigkeit des Gesteins hinzutritt. Die Festigkeitsunterschiede verlieren sich jedoch zur Tiefe hin, wie Schlagbohrdiagramme der Bohrfirmen zeigen.

Die Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit und des artesischen Auslaufs mit der Tiefe (s.S. 47) deuten darauf hin, daß die Kluftvolumina unterhalb der Verwitterungszone wenig variieren.

Es ist also möglich, daß man im saarländischen mittleren Buntsandstein in einer großen Zahl an Fällen die Grundwasserzirkulation im klüftigen Medium rechnerisch wie die Fließvorgänge im

porösen Medium behandeln kann. Dies steht im Gegensatz zu den allgemeinen Literaturangaben (PRINZ, 1923; WIEST, 1966 u.a.), nach denen ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Grundwasserzirkulation im klüftigen und porösen Medium bestehen soll. Der Verfasser ist jedoch der Meinung, daß weitere systematische Untersuchungen diese Gegensätzlichkeit (hier ohne Berücksichtigung der Verhältnisse des Karsts) stark abschwächen könnten.

6. Inhomogenitäten im mittleren Buntsandstein als Grundwasserträger.

Im mittleren Buntsandstein des Saarlands tritt neben der Grundwasserzirkulation im klüftigen Medium eine Grundwasserzirkulation im porösen Medium auf. Dem porösen Medium fällt dabei die Rolle des Grundwasserspeichers zu, während die Klüfte diesen Speicher im wesentlichen zu drainieren suchen. - Das poröse Medium ist in sich ebenfalls inhomogen, sodaß man zwei arten der ungleichförmigkeit unterscheiden kann.

- Inhomogenitäten durch Schichtflächen
- Inhomogenitäten durch Klüfte.

6.1 Grundwasserstockwerke im mittleren Buntsandstein.

Die Stockwerksgliederung äußert sich in zahlreichen Quellhorizonten, die immer an den Übergang von felsig/mürb ausgebildeten Faziesabschnitten gebunden sind (s.S.13f). Hierbei handelt es sich weniger um abdichtende, als um hemmende Schichtflächen.

Ein Teil der Quellen tritt an der Unterkante von Felsbänken auf, da die Klüfte im oberflächennahen Profilabschnitt in ihrer Anzahl und in ihrem Volumen vom Übergang der felsigen zu den mürben Sandsteinen stark abnehmen können (s.S.31). Diese Quellen fließen relativ stark aus und erreichen mittlere Schüttungen von 1-2 l/s (Hirschbrunnen, Lindenbrunnen, Frieda-Ruh-Brunnen, Dr. Orth-Brunnen u.a.). Ein anderer Teil der Quellen ist an die Oberkante der Felsbänke gebunden; dies wird dadurch bedingt, daß Körnungsunterschiede und Sedimentstrukturen, wie Schrägschüttungsblätter, in den mürb ausgebildeten Sandsteinen Bahnen erhöhter

Wegsamkeit darstellen. (Dies kann bei der Begehung der Westwallstollen sehr schön beobachtet werden), die den felsig ausgebildeten Partien, in vergleichbarem Ausmaß, fehlen; Quellen in diesem Bereich zeigen eine mittlere Schüttung von maximal 0,5 l/s (Quellen der alten Wasserversorgung Rentrisch, Bismarkquelle, Quellen am großen Stiefel u.a.).

Die Grundwasserstockwerksgliederung spielt jedoch nur eine untergeordnete Rolle und kann für praktische Fragen vernachlässigt werden. So läßt sich für den Bereich des Scheidtertals nachweisen, daß der am stärksten ausgeprägte Quellhorizont an der Grenze Rehberg-/Trifelsschichten nur rund 10 % des Sickerwassers über Quellen ableitet (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968). Wie bereits erwähnt, ist es auch nicht möglich, anhand der spezifischen Ergiebigkeiten eine Charakterisierung der Karlstalschichten gegenüber den Rehberg- und Trifelsschichten zu erreichen, obwohl sich beide Faziesbereiche petrographisch stark voneinander unterscheiden und bei den labormäßigen k_f-Wertbestimmungen (HEITELE, 1968) deutliche Unterschiede aufweisen.

Im Basisbereich des mittleren Buntsandsteins treten mächtigere Konglomerate auf, die sich, soweit sie nicht zu stark ungleichkörnig sind, unter Vorfluterniveau als Grundwasserstockwerk bemerkbar machen können; diese Horizonte dürften jedoch nur in Tiefen zwischen 0 und 100 m unter Flur (s.S.48) eine Rolle spielen. Im Spieser-Mühlental zeigen z.B. die Bohrungen, die tiefer als 40 m sind, im Zeitraum 1940 - 1953, in dem der Grundwasserträger überbeansprucht wurde, eine mittlere Grundwasserspiegelabsenkung von 50 cm/Jahr, während in den flachen Bohrungen nur eine Absenkungstendenz von 30 - 40 cm/Jahr auftritt. Die tieferen Bohrungen haben die konglomeratischen Lagen im Basisbereich des mittleren Buntsandsteins erreicht, die für das Grundwasser Bahnen erhöhter Wegsamkeit darstellen und den überlagernden, feinkörnigeren Gesteinskomplex flächig zu drainieren vermögen.

Eine andere Art der Stockwerksgliederung darf den Bohrungen 5, 6 und 7 im Scheidtertal (Bohrungen des Wasserbeschaffungsverbands) entnommen werden, deren Ansatzpunkte in den unteren Karlstalschichten liegen, und die in rund 70 bis 75 m Tiefe unter Flur, d.h. an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten, gespanntes Grundwasser angetroffen haben. Die Ursache hierfür ist weniger in der

unterschiedlichen petrographischen Ausbildung von Karlstal- und Trifelsschichten (s.o.) zu suchen, als vielmehr in einer lokalen stärkeren Klüftigkeit der Trifelsschichten. (Von anderen Bohrungen in diesem Gebiet sind keine entsprechenden Beobachtungen bekannt). Diese Art der Stockwerksgliederung tritt nur lokal auf, da erhöhte Klüftigkeiten streifenförmig und nicht flächig vorkommen.

Bei den vorhandenen Grundwasserstockwerken handelt es sich nicht um völlig getrennte Wasserkörper wie es beim oberen Buntsandstein und unteren Muschelkalk der Fall ist; trotzdem kann in den Stockwerken gespanntes Wasser auftreten.

Gespanntes Wasser kommt im mittleren Buntsandstein außerdem dort vor, wo die Grenze mittlerer/oberer Buntsandstein unter Vorfluterniveau liegt (Bliesgau) bzw. wo torfige oder lehmige Talverfüllungen unter den Grundwasserspiegel hinabreichen.

Die unterschiedliche Wegsamkeit einzelner, durchlaufender Horizonte im basisnahen Bereich des mittleren Buntsandsteins führt dazu, daß die besser wegsamen Stockwerke leichter entwässert werden können, d.h., ihr piezometrisches Niveau fällt bei starker Förderung schneller ab als in den weniger wegsamen Horizonten. Das hat zur Folge, daß sich bei einer Überbeanspruchung des Wasserträgers und der damit verbundenen Vergrößerung des unterirdischen Einzugsgebiets die Wasserscheide in den besser wegsamen Horizonten schneller verschieben kann als in den weniger wegsamen. In diesen Gebieten liegt dann keine für alle Stockwerke gleich verlaufende Wasserscheide mehr vor; sie fächert auf (Abb. 20). So zeigen die Bohrungen im Hufengebiet, die alle auf der Wasserscheide zwischen Lauterbachtal und Bisttal stehen i. allgem. ein langsames Abfallen des Wasserspiegels mit fortschreitender Bohrlochtiefe. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch die übermäßige Förderung im Lauterbachtal (durch die die unterirdische Wasserscheide zum Werbelerbachtal praktisch vollständig abgebaut wurde) die Wasserscheide zum Bisttal stark aufgefächert sein dürfte und die Bohrungen daher teilweise entleerte Stockwerke angetroffen haben. In Gebieten, in denen die Wasserscheide noch ihre natürliche Lage besitzt, ist dies nicht der Fall (Bohrung Hassel, Bohrung Heckendalheim). In Bohrungen, deren Wasserspiegel beim Abteufen langsam fällt, steigt die spezifische Ergiebig-

keit mit wachsender Fördermenge (Abb. 8). Dies rührt wohl daher, daß die Stockwerke mit hohem piezometrischem Niveau, die zuvor über das Bohrloch Wasser an die angezapften Stockwerke weitergeleitet haben, mit steigender Förderung immer weniger Wasser an andere Stockwerke abgeben. Diese Erscheinung ist nicht allein auf den Bereich der unterirdischen Wasserscheide beschränkt, sondern kann unter gleichen Bedingungen auch im Bereich der Vorfluter vorkommen.

6.2 Die Gliederung des Grundwasserträgers durch die Klüftigkeit.

Neben die vertikale Gliederung des Grundwasserträgers tritt eine streifenförmige, horizontale Gliederung, die durch das Auftreten von Zonen erhöhter Klüftigkeit bzw. Klüften bedingt ist. Unter natürlichen Bedingungen (Tab. 5) treten im klüftigen Buntsandstein wesentlich höhere Fließgeschwindigkeiten und geringere Gefällswerte als im porösen Medium auf. Daraus ergeben sich einige Besonderheiten für den Grundwasserspiegel, die in jedem Aquifer mit einer horizontalen Gliederung und starken Durchlässigkeitsunterschieden auftreten können.

Gefällswerte für das Kluftwasser sind nur in Einzelfällen bestimmbar und dürfen für den mittleren Buntsandstein nicht verallgemeinert werden; zwischen PB 3 und Bohrung 7 (Wellesweiler, Abb. 16), die durch einen Kluftstrang senkrecht zu den Grundwassergleichen verbunden sind, beträgt z.B. das Kluftwassergefälle 0,18 % gegenüber normal 2 - 5 % (nach den Grundwassergleichenplänen). Auch im Warndt, in dem der Buntsandstein stark klüftig ist, liegen die Gefällswerte gebietsweise bei 0,15 % (KLOCK, 1968). - Da die Fließgeschwindigkeiten, neben der Durchlässigkeit von den jeweils vorhandenen Gefällswerten bestimmt werden, muß die Orientierung der Klüfte zu den Fließlinien im porösen Medium (die Porenwasserzirkulation nimmt, großräumig gesehen, eine Vorrangstellung ein; s.S. 57 , 59) als Kriterium zur Diskussion dieser Erscheinungen gewertet werden. Man kann dann, für Modelle, zwei Fälle herausgreifen:

- die Orientierung der Klüfte senkrecht zu den Grundwassergleichen; das Gefälle des Kluftwasserspiegels nimmt dann seinen größten Wert an, und

- die parallele Orientierung der Klüfte zu den Grundwassergleichen; in diesen Fällen wird das Kluftwassergefälle Null.

6.21 Orientierung der Klüfte senkrecht zu den Grundwassergleichen.

Es darf als auffällig bezeichnet werden, daß

- im Bisttal im Bereich des Felsbergsprungs die Grundwasserstände in den Ruhebohrungen wesentlich höher stehen als in den talauf- und -abwärts gelegenen Bohrungen,
- im Grumbachtal Bohrung 1 (E = 4,64 l/s.m) einen wesentlich höheren Ruhewasserstand aufweist, als die talaufwärts gelegene Bohrung 2 (E = 0,84 l/s.m), und
- am Wasserwerk Sulzbach die Bohrung 5a (E = 2,1 l/s.m) einen höheren Ruhewasserstand zeigt, als die talaufwärts gelegene Bohrung 4 (E = 0,88 l/s.m), und Bohrung 5a, trotz der allgemeinen Absenkung des Grundwasserspiegels in diesem Bereich auf rund 6 m unter Flur, heute noch im Ruhezustand artesisch ausläuft.

Dies sind nur einige wenige Beispiele dicht beieinander gelegener Bohrungen, die im gleichen geologischen Horizont stehen, gleich tief in den Wasserträger hinabreichen und gleich tief verrohrt sind.

Überhöhte Ruhewasserstände auf Vorfluterniveau werden durch die unterschiedlichen Grundwassergefälle im Kluft- und Porenraum bei einer Orientierung der Klüfte senkrecht zu den Grundwassergleichen bedingt (Abb. 19), sodaß der Kluftwasserspiegel auf der Wasserscheide tiefer und auf Vorfluterniveau höher als der Porenwasserspiegel liegt. Wie groß die Unterschiede in den Spiegellagen sind, hängt neben der Orientierung der Klüfte zu den Grundwassergleichen von der Entfernung zwischen Wasserscheide und Vorfluter und dem Wegsamkeitsunterschied zwischen Kluft- und Porenwasser ab. Besitzt das Kluftwasser im Bereich des Vorfluters keine Abfluß-

möglichkeit, dann wird sich der Kluftwasserspiegel so einstellen, daß die Fläche, über die der Kluftstrang Zuflüsse aus dem porösen Medium erhält, ebenso groß ist, wie die Fläche, über die er den Porenraum speisen kann. Meistens kann jedoch das Kluftwasser im Bereich der Vorflut abfließen, (Silbersardquelle, im Limbachtal u.a.), sodaß die Klüfte weitgehend drainierend wirken (s.S. 59). Der Knick im Grundwassergleichenverlauf im oberen Hirschbachtal (Abb. 16), im Bereich der Bohrung 7, läßt z.B. den Bach noch als Vorfluter erscheinen. Dies ist jedoch nicht der Fall; vielmehr liegt der Kluftwasserspiegel hier noch wesentlich tiefer als der Porenwasserspiegel.

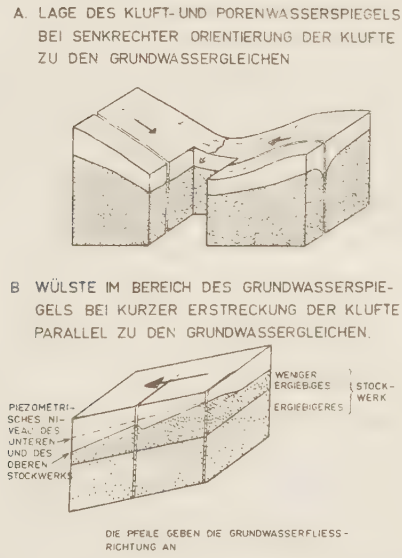

Abb. 19: Lage des Kluft- und Porenwasserspiegels im Bereich der Wasserscheide und auf Vorfluterniveau bei einer Orientierung der Klüfte senkrecht zu den Grundwassergleichen.

Zur Prüfung dieser Deutung wurde Bohrung Wellesweiler 1 (Abb.16) aufgrund des vergleichbar hohen Ruhewasserstands in dem 10 m entfernt gelegenen alten Bohrloch 7 (neben Bohrung 7) in der generellen Grundwasserfließrichtung angesetzt. Sie erreichte bei einem Zwischenpumpversuch in 30 m Tiefe bereits die hohe spezifische Ergiebigkeit von 1 l/s·m.

Überhöhte Ruhewasserspiegel in Bohrungen gehen stets mit hohen spezifischen Ergiebigkeiten einher (aufgestautes Grundwasser an Störungen ausgeschlossen); umgekehrt braucht dies nicht der Fall zu sein, da die Klüfte unabhängig von ihrer Orientierung zu den Grundwassergleichen die Zuflüsse zu einer Bohrung erhöhen.

Die unterschiedliche Orientierung der Klüfte zu den Grundwassergleichen drückt sich auch im Verlauf der Grundwasserstandsganglinien aus. So zeigen in Abb. 15 die Grundwasserstandsganglinien der Brunnen B (E = 6 l/s·m) und Brunnen I (E ≈ 10 l/s.m), gegenüber den Brunnen A (E = 2,67 l/s.m), R 4 (E = 1,34 l/s.m) und Pfalz II (E unbekannt) einen nervösen Verlauf. Auch in diesen Fällen können Bohrungen mit ruhig verlaufenden Grundwasserstandsganglinien hohe spezifische Ergiebigkeiten aufweisen, während umgekehrt nervös verlaufende Ganglinien stets mit hohen spezifischen Ergiebigkeiten gekoppelt sind.

Überhöhte Ruhewasserstände auf Vorfluterniveau stellen in Verbindung mit hohen spezifischen Ergiebigkeiten kein eindeutiges Kriterium für die Kluftorientierung dar, wenn man nur von zwei Einzelpunkten ausgeht, da auch Bohrungen, beiderseits von hemmend wirkenden Störungen (s.S. 78), unterschiedliche Wasserstände aufweisen. - Auf dem Wasserwerksgelände St. Ingbert zeigt z.B. Brunnen A (E = 2,67 l/s·m) einen höheren Ruhewasserstand als Brunnen I (E = 10 l/s·m). Die Grundwasserstandsganglinie von Brunnen A verläuft hingegen ruhiger als die von Brunnen I. Dies rührt daher, daß zwischen den Brunnen A und I eine Störung hindurchzieht (s.S. 21), die das Grundwasser auf der Tiefscholle im Bereich von Brunnen A aufstaut.

6.22 Orientierung der Klüfte parallel zu den Grundwassergleichen.

In diesen Fällen wird das Gefälle von Kluft- und Porenwasser null. Haben diese Klüfte eine ausreichende Tiefenreichweite und durchziehen Stockwerke unterschiedlicher Wegsamkeit, so wird das piezometrische Niveau in ihnen durch die höchste Energiehöhe der durchschnitteten Stockwerke bestimmt. D.h., allen Stockwerken wird eine gemeinsame Energiehöhe aufgezwungen, die Ausgangspunkt für die piezometrischen Druckflächen in den einzelnen Stockwerken ist. Man muß hierbei zwei Fälle voneinander unterscheiden:

- die Klüfte erstrecken sich nur auf kurze Entfernung parallel zu den Grundwassergleichen und setzen dann aus, oder
- die Klüfte verlaufen auf größere Entfernung parallel zu den Grundwassergleichen.

Im ersten Fall entstehen im Grundwasserspiegel Wülste (Abb. 19), durch die die Grundwasserfließrichtung abgelenkt wird.

Im zweiten Fall muß sich das Grundwassergefälle oberstromig zu diesen Klüften verflachen, d.h. die Gefällswerte in den einzelnen Stockwerken gleichen sich und sind nicht mehr Ausdruck der Wegsamkeit (Abb. 20). In diesen Fällen wirken sich die Klüfte ähnlich hemmend aus wie die Störungen.

6.3 Inhomogenitäten, die durch Störungen bedingt sind.

Neben die Klüfte, die die Grundwasserfließgeschwindigkeiten beschleunigen können, treten die Störungen als hemmende Faktoren (s.S. 25). Die Bohrung Betzental (St. Ingbert) bietet hierfür möglicherweise ein sehr schönes Beispiel. Sie steht an der vermuteten Störung zwischen Rohrbach und St. Ingbert (s.S. 22) - nach der Profilbeschreibung hat sie "stark tonige" Sandsteine angetroffen! - auf der Südscholle, auf der der Grundwasserspiegel höher als auf der Nord- (Hochscholle) steht und kam in den verlehmten Kern der Störung (daher inre geringe spezifische Ergiebigkeit von 1,1 l/s·m). Beim Abteufen der Bohrung fiel der Grundwas-

serspiegel von zunächst 25 m unter Flur langsam ab und erreichte erst zwei Jahre nach Fertigstellung der Bohrung seinen stabilen Ruhezustand bei 39 m unter Flur. Es wäre denkbar, daß diese Spiegellage einen Ausgleichsspiegel zwischen den Wasserständen beiderseits der Störung darstellt. Als Hinweis für die Richtigkeit dieser Deutung können die Bohrung Glashütte Vopelius auf der Südscholle und die 100 m entfernte Bohrung der Fa. Sehn auf der Nordscholle gewertet werden, deren Ruhewasserstände mehr als 13 m Höhenunterschied aufweisen (die Bohrung Vopelius läuft artesisch aus). Ähnlich scheinen die Verhältnisse bei der Bohrung Homburg 8 zu liegen (nach einer Mitteilung von Herrn HEITELE). Diese beiden Beispiele mögen weiterhin zeigen, daß ein Abfallen des Wasserspiegels während der Abteufarbeiten nicht immer als Hinweis auf teilweise entleerte Grundwasserstockwerke gedeutet werden kann (s.S. 73).

Um ein Mehr an Grundwasser über eine Störung hinwegzuziehen, müssen die Gefällsunterschiede zwischen 2 Punkten beiderseits der Störung erheblich größer sein als im ungestörten Wasserträger. So trägt die vermutete Störung zwischen Wasserwerk Sulzbach und St. Ingbert (s.S. 21) wahrscheinlich zu der starken Absenkung des Grundwasserspiegels in Rentrisch bei, da sie die Zuflüsse von NW hemmt und die Bohrungen von Rentrisch das Grundwasser stärker von SE her anziehen.

Die Störungen bedingen eine Parzellierung des Grundwasserträgers. So darf die südliche Randüberschiebung im Bereich des Scheidtertals als ganz abdichtend angesehen werden (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968). - Im Scheidtertal können folgende Gewinnungsgebiete, die von Störungen gegeneinander abgegrenzt sind, unterschieden werden: (Abb. 23)

- das Gewinnungsgebiet Scheidt mit den Wasserwerken Dudweiler, Grumbachtal und den Bohrungen 6 und 7 der Stadtwerke Saarbrücken; die gegenwärtigen Ruhewasserstände liegen hier bei 6 m unter Flur. Der Brunnen IX (Dudweiler) steht am Südrand des Gewinnungsgebiets (dicht an der Nordrandverwerfung des Bischmisheimer Grabens; Abb. 1). Auf der nördlichen Begrenzungslinie, die die Verwerfung zwischen Flugplatz Ensheim und Gehlberg bildet, steht das Wasser-

werk Sulzbach mit der Bohrung 5 a, die heute noch artesisch ausläuft.

- Das Gewinnungsgebiet Rentrisch, Schneiderwerke St. Ingbert, Brauerei Becker, Wasserwerk St. Ingbert, schließt sich an das Gewinnungsgebiet Scheidt an. In ihm liegen die Ruhewasserstände in Rentrisch bei 6 m unter Flur und steigen bis zum Wasserwerk St. Ingbert bis zum artesischen Auslauf (Bohrung V). Nach NW wird es durch die Störung zwischen Wasserwerk Sulzbach und St. Ingbert (Abb. 2) und nach SE durch die Störung zwischen Rohrbach und St. Ingbert begrenzt (Abb. 2).
- In dem NW vorgelagerten Gebiet liegen die Brunnen Hadir, Schlachthof St. Ingbert, Weigand und Grube St. Ingbert,
- in dem SE anschließenden Gebiet die Bohrungen Betzental, Glashütte Popelius, Rohrbach I - III, Pfalz I und II und Glashütte III, die zum größten Teil heute noch artesisch auslaufen.

Die von THIELE (1965 a, b) als Grundwasserschwellen bezeichneten Bohrungen sind kluftbedingt oder hängen mit Störungen zusammen und dürfen nicht als Anzeichen dafür gewertet werden, daß im Scheidtertal noch keine Überbeanspruchung des Wasserträgers vorliegt; das Gegenteil ist im Raum Rentrisch - Scheidt der Fall (s.S. 95).

6.4 Der mittlere Buntsandstein als Grundwasserträger in großräumiger Sicht.

In Abb. 21 sind drei ausgewählte, langjährige Grundwasserstandsganglinien aus dem 20,5 km^2 großen Wassergewinnungsgebiet Spieser-Mühle (Saarbergwerke) den entsprechenden Fördermengen und Niederschlagssummen gegenübergestellt.

Bohrung 14 (100 m tief) steht am nördlichen Ende, die Versuchsbohrung Glashütte II (89 m tief) im Zentrum und Glashütte III (80 m tief) fast am östlichen Ende des Gewinnungsgebiets (Abb.22). Aus vergleichenden Beobachtungen mit anderen Brunnen kann gesagt werden, daß sie keiner direkten Beeinflussung durch die umliegen-

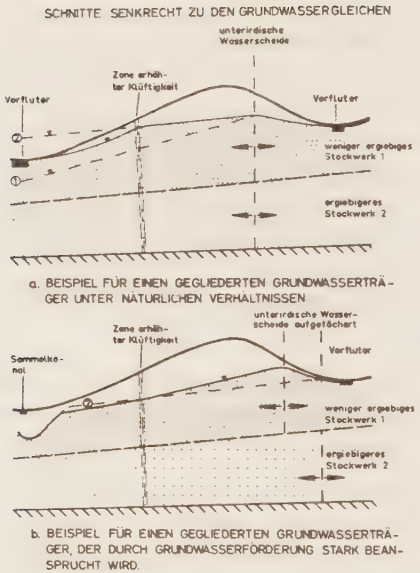

Abb. 20: Schematische Darstellung des Absenkungsvorgangs in inhomogenen Wasserträgern, in denen es bei einer Überbeanspruchung des unterirdischen Einzugsgebiets zu einem Auffächern der Wasserscheide kommen kann. (Die Gefällslinien für die einzelnen Stockwerke sind mit 1 und 2 bezeichnet).

den Förderbohrungen unterliegen.

Von 1932 - 1940 wurden aus dem gesamten Fördergebiet im Mittel 5,6 Mio m^3/Jahr gefördert (Abb. 21 b). Mit dem Jahr 1940 wurde die Förderung auf durchschnittlich 7,6 Mio m^3/Jahr heraufgesetzt und bis zum Jahre 1950 konstant beibehalten. In diesem Zeitraum vergrößerte sich das unterirdische Einzugsgebiet von ca. 16,8 auf ca. 20,5 km^2 und der Grundwasserspiegel sank kontinuierlich um durchschnittlich 50 cm/Jahr in den tiefen und um 30 - 40 cm/Jahr in den flachen Bohrungen ab (s.S. 72), ohne jedoch einen Beharrungszustand zu erreichen. Aus dem 20,5 km^2 großen unterirdischen Ein-

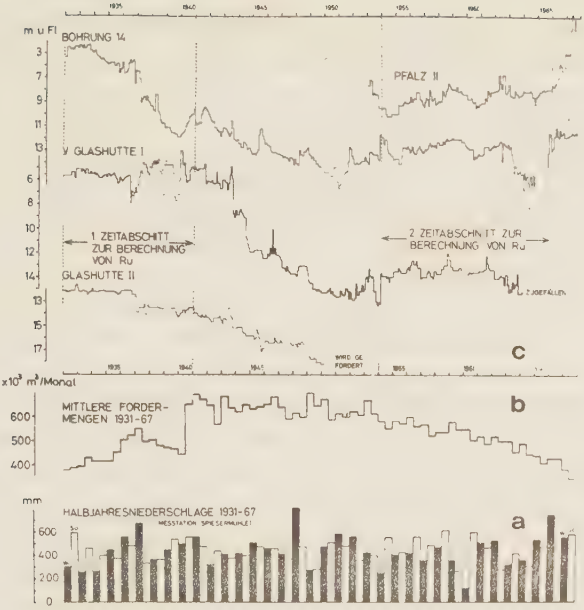

Abb. 21: Grundwasserstandsganglinien, Grundwasserförderung und Niederschlagssummen aus dem Spieser-Mühlengebiet für den Zeitraum 1932 - 1967 (bezogen auf hydrologische Jahre).

zugsgebiet können, bei einer gewinnbaren mittleren Grundwasserneubildung von 10 l/s km^2 (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968), nur 6,6 Mio m^3/Jahr gefördert werden. Die Reaktion des Grundwasserträgers auf Änderungen seines Gleichgewichtszustands muß daher als träge bezeichnet werden. Dies zeigt sich auch im Lauterbachtal (KLOCK, 1968).

Die mittleren k_f-Werte und der nutzbare Porenraum (s.S. 86, 61) sind für den mittleren Buntsandstein sehr klein. Die erstaunlich langsame Absenkung des Wasserspiegels hängt damit zusammen, daß die Klüfte als Drainagestränge wirken und deshalb in der Lage sind, "ihr Einzugsgebiet" relativ rasch zu vergrößern. D.h., im Falle einer Überbeanspruchung des Wasserträgers wird der Kluftwasserspiegel wesentlich schneller abgebaut als der Wasserspiegel im Porenraum.

Die Klüfte bedingen ein weit stärkeres Auffächern der Wasserscheide als dies durch die unterschiedliche Wegsamkeit in den Grundwasserstockwerken der Fall ist (s.S. 73, Abb. 20). So konnte HEITELE (nach einer mündlichen Mitteilung) nachweisen, daß aufgrund der Wasserbilanzen für das Lambsbachtal, das unterirdische Einzugsgebiet des Erbachs das Einzugsgebiet des Lambsbachs bereits angezapft hat, obwohl zwischen beiden Einzugsgebieten noch eine unterirdische Wasserscheide ausgebildet ist.

Im Spieser-Mühlengebiet liegt der Schwerpunkt der Förderung zwischen den Bohrungen VG II und B 14 (Abb. 22 a, c), während in den Bohrungen Kleberbach und Weißenbruch nur eine geringe Förderung umgeht; trotzdem werden diese Bohrungen gleich stark abgesenkt wie im Zentrum des Gewinnungsgebiets. Die Gefällswerte des Grundwasserspiegels vor 1931 und 1953 (Abb. 22 a) sind ebenso groß wie unter natürlichen Verhältnissen. Daraus muß geschlossen werden, daß es bei einer Überbeanspruchung des unterirdischen Einzugsgebiets zu einer flächig gleichförmigen Absenkung des Wasserspiegels kommt. Dies kann verschiedene Ursachen haben:

- die Klüfte wirken sich so aus, als läge ein homogener Wasserträger vor, in dem die Bohrungen gleichmäßig über das unterirdische Einzugsgebiet verstreut liegen und gleichmäßig belastet werden,
- bei Förderbetrieb nehmen die Zuflußgeschwindigkeiten zu einer Bohrung mit der Tiefe zu, sodaß der Grundwasserträger in größeren Tiefen stärker beansprucht wird als im Bereich des Grundwasserspiegels, und schließlich
- vermag das untere, besser wegsame Stockwerk im Spieser-Mühlengebiet das überlagernde, weniger wegsame Grundwasserstockwerk flächig zu drainieren.

Der Gang des Absenkungsvorgangs im Spieser-Mühlental und Lauterbachtal (KLOCK, 1968) macht weiterhin deutlich, daß das Fehlen einer raschen Beeinflussung von Quellen oder Bohrungen bei Pumpversuchen oder nach kurzfristigem Förderbetrieb noch keine Aussagen über etwaige getrennte Einzugsgebiete (Störungen, Grundwasserstockwerke) zuläßt. Dies ist bei fehlenden geologischen Aufschlüssen erst über langjährige Beobachtungen möglich.

7. Nutzbares Hohlraumvolumen im klüftigen- und porösen Medium des mittleren Buntsandsteins.

Vom Porenvolumen, das das gesamte Hohlraumvolumen eines Gesteins angibt und das im mittleren Buntsandstein des Saarlands zwischen 30 und 40 % liegt (HEITELE, 1968), muß das nutzbare Hohlraumvolumen, in dem das Grundwasser zirkuliert, unterschieden werden. Durch die Grundwasserförderung kann die Gesteinssäule nur bis zum nutzbaren Hohlraumvolumen entleert werden.

7.1 Nutzbares Porenvolumen des Festgesteins.

Im folgenden soll das nutzbare Hohlraumvolumen des mittleren Buntsandsteins für das Grundwassergewinnungsgebiet Spieser-Mühle bestimmt werden. Im Zeitraum 1940 - 1950 wurde ein Teil der Grundwasserreserve aufgebraucht, wodurch sich der Grundwasserspiegel im Zentrum und außerhalb des Fördergebiets (s.S. 82) um 10,5 m absenkte (Abb. 21 und 22).
Im Zeitraum 1932 - 1950 sind im Spieser-Mühlental 126,5 Mio m^3 Grundwasser gefördert worden. Das unterirdische Einzugsgebiet vergrößerte sich von 16,8 auf 20,5 km^2. Von der Förderung stammen, bei einem Niederschlagsdargebot von 17 450 mm und einer Versikkerungsrate von 40 % (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968), 6980 - 32 = 6 948 mm aus der Grundwasserneubildung (32 mm werden über das Quellstockwerk an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten abgeführt und sind nicht gewinnbar). Wie auf S.82 gezeigt, stammen nur 87 % der Förderung aus dem unterirdischen Einzugsgebiet des Fördergebiets und werden 13 % über Klüfte aus den benachbarten Einzugsgebieten bezogen.

Es soll angenommen werden, daß die Absenkung des Grundwasserspiegels nur im Zentrum 10,5 m betragen habe und sich der Wasserspiegel im Bereich der Wasserscheide um 2,5 bzw. 5 m abgesenkt habe, sodaß die entleerte Gesteinssäule als eine Kombination von Kegelstumpf mit aufgesetztem Kreiskegel (Abb. 22 d) aufgefaßt werden kann. Diese Berechnung ergibt optimale Werte (Tab. 8).

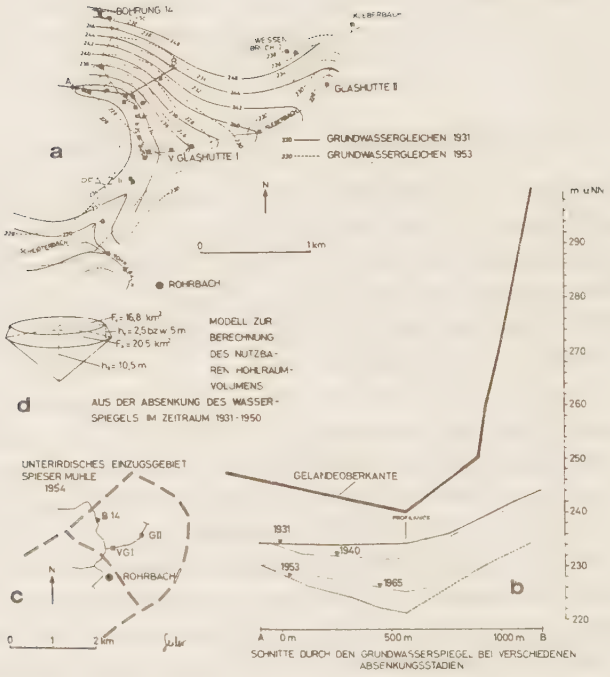

Abb. 22: Verlauf der Grundwassergleichen im Gewinnungsgebiet Spieser-Mühle im Jahre 1931 und 1953; Umriß des Gewinnungsgebiets und Modellkörper zur Berechnung des nutzbaren Hohlraumvolumens des Festgesteins.

Tab. 8: Nutzbares Hohlraumvolumen des mittleren Buntsandsteins, errechnet für das Grundwassergewinnungsgebiet Spieser-Mühle, in dem das unterirdische Einzugsgebiet von 1932 - 1950 von ca. 16,8 auf ca. 20,5 km^2 vergrößert wurde

Absenkung in m im Zentrum	Absenkung in m auf der Wasserscheide +	nutzbares Hohlraumvolumen in %
10,5	5,0	5,3
10,5	2,5	9,5

+ (geschätzte Werte)

Das nutzbare Hohlraumvolumen des Festgesteins wird man daher (großräumig gesehen) kleiner als 10 % ansetzen müssen und etwa mit einem Mittelwert von 7 - 8 % rechnen dürfen.

7.2 Kluftvolumen des mittleren Buntsandsteins

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Kluftvolumens bot sich bei der Neuerschließung des Wassergewinnungsgebiets Hirschbachtal (Wellesweiler). Dazu wurden die Bohrungen PB 3 und PB 4 (Abb.16) jeweils im Bereich des Grundwasserspiegels eingefärbt, die Verdünnungsgeschwindigkeiten in den Peilbohrungen bestimmt und sodann das erste Auftreten von Uranin in B 7 ermittelt (die Ausbeute an eingegebenem Uranin betrug 100 % und Kluftmessungen in den nahe gelegenen Aufschlüssen berechtigen zu der Annahme einer direkten Verbindung über Klüfte zwischen PB 3 und PB 4 und B 7). Diese Versuche wurden zwischen PB 3 und B 7 bei zwei und zwischen PB 4 und B 7 bei einer Förderstufe in B 7 durchgeführt. Das nutzbare Kluftvolumen kann dann aus dem Quotienten aus Filtergeschwindigkeit zu wahrer Fließgeschwindigkeit berechnet werden (Tab. 9).

$$\frac{v_f}{v_n} = n \cdot 100$$

Dies sind zweifellos nur Einzelwerte und zudem Werte von einer sehr ergiebigen Bohrung (E = 8,0 l/s.m); man wird daher das nutz-

Tab. 9: Bestimmung des nutzbaren Kluftraumvolumens im Hirschbachtal (Wellesweiler)

Einfärbung zwischen	v_f in cm/s	v_n in cm/s	nutzbares Kluftvolumen in %
PB 3 - B 7	$4{,}17.10^{-2}$	5,45	0,77
	$6{,}40.10^{-2}$	8,60	0,75
PB 4 - B 7	$1{,}13.10^{-2}$	2,24	0,51

bare Kluftvolumen im mittleren Buntsandstein des Saarlands mit 0,1 - 1 % angeben dürfen. Diese Werte entsprechen recht gut den Literaturangaben (z.B. HEITFELD, 1965).

C. PRAKTISCHE FOLGERUNGEN

1. Grundwassergleichenpläne und ihre Aussage

Die Grundwassergleichenpläne können i. allg. nur aus einer kleinen Anzahl an Bohrungen und unter Berücksichtigung der Talhöhen, soweit die Täler echte Vorfluter darstellen, konstruiert werden. Nachteilig zu ihrer Konstruktion wirken sich übertiefte Bohrungen aus (wie z.B. im Bliestal), da in ihnen, ebenso wie in Bohrungen, die Klüfte mit senkrechter Orientierung zu den Grundwassergleichen (z.B. Grumbachtal) angefahren haben, überhöhte Grundwasserstände auftreten.

Über sie lassen sich größere unterirdische Einzugsgebiete zur Bestimmung der optimal möglichen Fördermenge mit hinreichender Genauigkeit festlegen. Die Fließrichtungen des Grundwassers können nur generell bestimmt werden. Es muß immer berücksichtigt werden, daß die Klüfte aufgrund ihrer Orientierung zu den Grundwassergleichen stark abweichende Fließrichtungen bedingen können; in großen Gewinnungsgebieten spielt dies keine Rolle mehr. Auch können aus den Gefällswerten des Grundwasserspiegels nicht ohne weiteres Schlüsse über die relative Durchlässigkeit des durchflossenen Gesteins gezogen werden, da sie, bei den i. allg. großen Bohrlochabständen, durch hemmend wirkende Störungen und die unterschiedliche Orientierung der Klüfte zu den Grundwassergleichen, zu groß oder zu klein werden können; so läßt sich z.B. in dem durch Bohrungen sehr gut aufgeschlossenen Wassergewinnungsgebiet Wellesweiler das generelle Grundwassergefälle mit 1,5 % dem Grundwassergleichenplan entnehmen (Abb. 16), während detaillierte Gefällsbestimmungen

- im porösen Buntsandstein zwischen aB 19 und B 4 9,5 %, und
- im klüftigen Medium zwischen PB 3 und B 7 0,2 % erbrachten.

Könnte der Grundwasserspiegel exakt aufgenommen werden, so würde er Vertiefungen auf der Wasserscheide und Überhöhungen auf Vorfluterniveau und, großräumig gesehen, eine gewellte und abgetreppte Oberfläche zeigen.

2. Zur Frage der Wirksamkeit der Verrohrung gegen eindringendes Oberflächenwasser.

Bislang wurde im mittleren Buntsandstein des Saarlands die Verrohrungstiefe mit 30 m, bei sehr guten Bohrungen teilweise mit 40 m und im Bliestal mit ca. 50 m angesetzt, um die Bohrungen gegen eindringendes Oberflächenwasser zu schützen. Inzwischen konnte aber mehrfach nachgewiesen werden, daß die Verrohrung keinen Schutz vor eindringendem Oberflächenwasser zu bieten braucht.

a. Im porösen Buntsandstein:

- an Bohrung 4 (Hirschbachtal) wurden bei einer Tiefe der Bohrung von 65 m vor und nach Einbau der Verrohrung Verdünnungsversuche in den umliegenden Bohrungen PB 1 und aB 19 (Abb. 16) in jeweils drei verschiedenen Teufen durchgeführt (Tab. 10). In Richtung aB 19 - B 4 beeinflußt die Verrohrung die horizontalen Filtergeschwindigkeiten nicht (diese Richtung entspricht der Hauptzuflußrichtung zu B 4), wirkt sich aber in Richtung PB 1 - B 4 schwach hemmend aus.

b. Im klüftigen Medium:

- an Bohrung 7 (Wellesweiler) wurden vor und nach Einbringung der 20 m tiefen Verrohrung die natürlichen Fließgeschwindigkeiten zwischen PB 3 sowie PB 4 und Bohrung 7 (Abb. 16) bestimmt; der abgesenkte Wasserspiegel blieb beim abschließenden Pumpversuch innerhalb der Verrohrung; die Fließgeschwindigkeiten änderten sich nicht;
- an Bohrung 4 (Wieschbachtal) lag der abgesenkte Wasserspiegel innerhalb der Verrohrung; trotzdem gelangt das Bachwasser in die Bohrung (s.S. 36);
- Bohrung VIII, Scheidt, wird trotz 26 m tiefer Verrohrung immer wieder bakteriologisch verunreinigt; dies rührt wahrscheinlich daher, daß Klüfte über alte Quellkanäle eine Verbindung zum Scheidterbach herstellen. So mußte Bohrung VIII bei der Verdolung des Scheidterbachs stärker abgesenkt werden, um (mit Erfolg)

Tab. 10: Die horizontalen Filtergeschwindigkeiten in den Beobachtungsbohrungen PB 1 und aB 19 vor und nach Einbringen der 18 m tiefen Verrohrung in Bohrung 4 (Wellesweiler).

Bohrung	Förderung in B 4 in l/s	ohne Verrohrung v_f in 10^{-4} cm/s in der Entnahmetiefe von			mit Verrohrung v_f in 10^{-4} cm/s in der Entnahmetiefe von		
		10 m	20 m	30 m	10 m	20 m	30 m
aB 19	5,0	-	-	-	2,06	1,20	1,84
	7,8	3,89	2,18	2,41	-	-	-
	10,0	-	-	-	4,64	5,12	?
PB 1	5,0	-	-	-	0,99	0,70	0,57
	7,8	1,64	1,72	1,39	-	-	-
	10,0	-	-	-	1,36	1,24	0,80

den Wasserandrang im Scheidterbach, nahe dieser Bohrung, einzudämmen;

- Bohrung Limbach 6 (Neunkirchen) ist 30 m tief verrohrt; bei einer Absenkung von 3,5 m unter Verrohrungsoberkante tritt ein plötzlicher Ergiebigkeitsabfall auf, der daher rührt, daß eine weitere Spiegelsenkung den Kluftwasserspiegel der schräg einfallenden Klüfte nicht mehr beeinflußt.

Vergleicht man die Pumpversuchsergebnisse vor und nach Einbau der Verrohrung, so tritt in 21 auswertbaren Fällen bei 18 Bohrungen keine und bei 3 Bohrungen eine Verringerung der spezifischen Ergiebigkeit auf. Da es andererseits keine echten Grundwasserstockwerke im mittleren Buntsandstein gibt und die horizontalen Filtergeschwindigkeiten im Umkreis des verrohrten Profilabschnittes nicht oder kaum beeinflußt werden, muß angenommen werden, daß es entlang der Verrohrung im Grundwasserträger zu erheblich hohen Fließgeschwindigkeiten kommt, die eine verstärkte Auswaschung des Buntsandsteins bedingen können (EINSELE, 1966). Beispiele hierzu sind aus dem Spieser-Mühlengebiet bekannt, wo es um die Bohrungen herum zu Geländeabsenkun-

gen von 50 cm und mehr kam. Ähnlich dürfte die Trichterbildung um Brunnen 4 (Rentrisch) zu verstehen sein.

Um bei der Neuerschließung des Wassergewinnungsgebiets Wellesweiler Anhaltspunkte für die Verrohrungstiefe zu erhalten, wurden im 30 m Tiefenintervall Zwischenpumpversuche gefahren, um die Zunahme der spezifischen Ergiebigkeit, als Ausdruck der Klüftigkeit, zu erfassen. Eine Erhöhung der E-Werte um maximal 0,2 - 0,25 l/s·m auf 30 m Teufenzuwachs kann als Ausdruck eines porösen Profilabschnitts gedeutet werden, über dem ein klüftiger Profilabschnitt durch die Verrohrung abgesperrt werden kann. Dies gelang z.B. bei der Bohrung Wellesweiler 3. Ob diese Absperrung aber von Dauer ist, muß fraglich bleiben.

Da der größte Teil der Bohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlands Klüfte angefahren hat, sollte die Verrohrung in den frei stehenden Bohrlöchern in erster Linie als Schutz der U-Pumpen vor dem anfallenden Sand betrachtet werden. Nur in den Fällen, in denen der obere Buntsandstein oder untere Muschelkalk von einer Bohrung noch durchlöchert wird, können diese Grundwasserstockwerke durch die Verrohrung gegen den mittleren Buntsandstein abgesperrt werden.

Wenn im mittleren Buntsandstein bislang nur wenige Fälle einer bakteriologischen Verunreinigung des Grundwassers bekannt geworden sind, so ist dies i. allg. nicht auf die Wirkungsweise der Verrohrung zurückzuführen, sondern darauf, daß das Einzugsgebiet der Bohrungen in Gebiete ohne Verunreinigungsherde (Wald, Decklehme, lehmige Talverfüllungen) führt; dies ist um so wahrscheinlicher, als die Wassereinzugsrichtung der Bohrungen sehr stark durch die Klüfte bestimmt wird.

3. Zur Frage des Grundwasserschutzes im mittleren Buntsandstein des Saarlandes.

Dieses Problem wird vor allem von HEITZER (1968) vom Gesichtspunkt der Versickerung in den Oberflächenschichten behandelt und soll hier nur mit Blick auf die Wege des bereits versickerten Wassers, gestreift werden.

Eine wirtschaftlich vertretbare Grundwassergewinnung im saar-

ländischen mittleren Buntsandstein kann nur über den Kluftraum erfolgen, da die Klüfte das Porenwasser abdrainieren. - Entgegen der Annahme von THIELE (1965 b) reichen die Klüfte, soweit keine lehmigen Überdeckungen oder Hangverstürze vorliegen, bis zur Geländeoberfläche und können hier z.T. mehrere Zentimeter weit klaffen.

Wie die Zwischenpumpversuche zeigen, liegt in den Bohrungen i. allg. kein bestimmter Teufenabschnitt mit besonders hohem Wasserandrang vor, vielmehr verhalten sich alle Teufenabschnitte bis 100 m unter Flur ähnlich (innerhalb einer Bohrung). Sowohl die flachen, als auch die tiefen Bohrungen können bei der Festlegung der Wasserschutzgebiete gleich behandelt werden, da die Fließgeschwindigkeiten im Bereich des Grundwasserspiegels nur von der Fördermenge, nicht hingegen von der Bohrlochtiefe abhängen.

Aufgrund der spezifischen Ergiebigkeiten können zwei Gruppen von Bohrungen unterschieden werden:

- Bohrungen mit $E < 0{,}5 - 0{,}6$ l/s.m werden ausschließlich aus dem Porenraum versorgt und sind wegen der niedrigen k_f-Werte ($< 10^{-3}$ cm/s) und des niedrigen nutzbaren Porenvolumens (7 - 8 %) leicht zu schützen.
- Bohrungen mit $E > 0{,}6$ l/s.m werden aus Klüften versorgt. Für sie ist es wichtig, die Kluftrichtungen als Hauptzuflußrichtungen zu kennen; Anhaltspunkte hierfür können Kluftmessungen sowie die Grundwasserstandsganglinien und Vergleiche der Ruhewasserstände benachbarter Bohrungen erbringen. In der Praxis wird diese Frage jedoch stets auf große Schwierigkeiten stoßen.

Mit der einzementierten Verrohrung sollte kein Schutz der Bohrungen vor Oberflächenwasser vorausgesetzt werden, da ihre Wirksamkeit äußerst problematisch ist.

4. Zur Frage der Grundwassererschließung im mittleren Buntsandstein.

Jedem Gewinnungsgebiet liegt ein unterirdisches Einzugsgebiet

zugrunde. Die Grundwasserfließrichtungen folgen nur in schwebenden Grundwasserstockwerken, dem Schichtfallen oder einem Relief an der Stockwerksbasis. Aufgrund der stark unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten im Kluft- und Porenraum müssen die Bohrungen auf Klüfte angesetzt werden, um das gesamte Grundwasserdargebot heben zu können (Beispiel Bohrung 5 a, Wasserwerk Sulbach). Es ist dabei wenig sinnvoll, die Bohrungen gleichmäßig über das ganze Einzugsgebiet zu verteilen, da die Klüfte direkt oder auf Umwegen zum Vorfluter hin entwässern und man dadurch mit einer geringeren Anzahl von Bohrungen auskommen kann. Die Grundwasserförderung im Bereich der Vorfluter sollte jedoch nicht auf einigen wenigen, sehr ergiebigen Bohrungen, sondern auf einer größeren Anzahl von Bohrungen aufgebaut werden, damit keine punktförmigen Pumpmulden entstehen; großflächige Pumpmulden können dagegen bei einem Überangebot an Sickerwasser das zusitzende Wasser speichern, ohne daß es an den Vorfluter oder in größeren Mengen an die Verdunstung abgegeben wird. Es ist daher durchaus vertretbar, neu erschlossene Gewinnungsgebiete zunächst stärker als normal zu beanspruchen, um dann auf die für die Größe des unterirdischen Einzugsgebiets festgelegte Fördermenge zurückzuschalten.

Für die Grundwassererschließung ist es wesentlich, die Störungen und deren Verlauf zu kennen, da sie eine Parzellierung des Gewinnungsgebietes bedingen, sodaß sich bei ungleicher Verteilung der Förderbohrungen (beiderseits einer Störung) die Pumpmulden übertiefen. In diesen Fällen sollten die Bohrungen, anhand von Teilbilanzen, beiderseits der Störung so verteilt werden, daß keine einseitige Beanspruchung des Wasserträgers entsteht.

Ungünstig sind Bohransatzpunkte, die den Kern von Störungen treffen, da diese Brunnen, in denen der Gesteinsverband stark aufgelockert ist, nicht selten mit dem Förderbetrieb zusammenfallen. - Wie die Neuerschließung des Förderfeldes Wellesweiler zeigt, können die klüftigen Zonen im Gelände über Aufschlüsse und morphologische Vergleiche für die Auswahl der Bohransatzpunkte erfaßt werden; von 7 Bohrungen erreichten 6 Bohrungen bereits bei 30 m Tiefe eine spezifische Ergiebigkeit von rund 1 l/s.m; eine Bohrung lag unter den Erwartungen. Geht man von der Klüftigkeit

in Aufschlüssen aus, so muß berücksichtigt werden, daß

- die Klufthäufigkeiten in felsig ausgebildeten Profilabschnitten höher sein können als in den unterlagernden, mürb ausgebildeten Partien, und
- die Klüfte ein Einfallen von 80 - 85° haben; die Klüfte sollten im Bohrloch möglichst tief reichen bzw. möglichst tief angefahren werden, damit die Zuflüsse aus ihnen mit jeder beliebigen Absenkung variiert werden können.

Die Bohrungen brauchen nicht tiefer als 110 m in den Grundwasserträger hineinreichen, da in größeren Tiefen i. allg. nur noch Porenwasser erschlossen wird, das keine wirtschaftliche Förderung gewährleistet. In dieser Brunnentiefe ist noch genügend Raum für den mit dem Pumpbetrieb anfallenden Sand enthalten. - Der Umstand, daß das Kluftwasser aufgesucht werden muß, zwingt in einigen Fällen zur Verfilterung der Bohrlöcher, da aus den Klüften z.T. erhebliche Sandmengen in das Bohrloch eingespült werden.

In Tab. 11 sind für die einzelnen, untersuchten Gewinnungsgebiete die mittleren spezifischen Ergiebigkeiten zusammengestellt. Es zeigt sich dabei, daß die Gebiete,

Tab. 11: Die mittleren spezifischen Ergiebigkeiten für die einzelnen Untersuchungsgebiete

Einzugsgebiet	E in l/s·m	Einzugsgebiet	E in l/s.m
Homburg/Erbach	3,5	Würzbachtal	1,7
Hirschbachtal	2,0	Wieschbachtal	2,0
Limbachtal	8,5	Fechingerbach	0,46
Scheidterbachtal	1,6	Saartal sdl. Saarbrücken	0,7
		Warndt	3,6

in denen die Bohrungen im unteren Muschelkalk ansetzen und bis in den mittleren Buntsandstein hineinreichen, die geringsten spezifischen Ergiebigkeiten aufweisen (Saartal südlich Saarbrücken, Fechingerbachtal). Diese Gebiete sind für eine großräumige Grundwassergewinnung offensichtlich ungeeignet. Sehr günstig sind die Bereiche mit Antiklinalen (Warndt: Randgebiete des Saarbrücker Hauptsattels).

5. Grundwassererschließungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet des Scheidtertals und Wieschbachtals.

Die südliche Randüberschiebung des Saarbrücker Hauptsattels muß als abdichtend angesehen werden (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968), sodaß das unterirdische Einzugsgebiet des Scheidtertals im NW von der südlichen Randüberschiebung, im SW von der Wasserscheide zur Saar, im S von der Nordrandverwerfung des Bischmisheimer Grabens und im SE, E und NE von den Wasserscheiden zum Wieschbach, Würzbach, Limbach, Hirschbach und Kaasbruch begrenzt wird (Abb. 23).

Teilt man das unterirdische Einzugsgebiet des Scheidtertals (73 km^2) für die einzelnen Gewinnungsgebiete auf und stellt die daraus resultierenden, optimal möglichen Fördermengen (10 l/s km^2) (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SEILER, 1968), den tatsächlichen Fördermengen gegenüber (Tab. 12), so zeigt sich, daß in den

Tab. 12: Die optimal möglichen Fördermengen im Vergleich zu den tatsächlichen Fördermengen in den einzelnen Teileinzugsgebieten des Scheidtertals.

Gewinnungsgebiet	unterirdisches Einzugsgebiet in km^2	optimale Förderungsmöglichk. in l/s	tatsächliche Förderung in l/s [xx]
Spieser-Mühle	20	200	149
Stadtwerke St. Ingbert	14	140	43
Industrie St. Ingbert	14	140	71
Rentrisch Sulzbach Scheidt Grumbachtal	25	250	287

[xx] zugrunde gelegt wurde die mittlere Förderung von 1960 - 1967.

Gewinnungsgebieten Rentrisch, Sulzbach, Scheidt und Grumbachtal, die wegen der Lage der Förderbohrungen zusammengefaßt werden müssen, bereits eine Überbeanspruchung des zugehörigen unterirdischen Einzugsgebiets von + 37 l/s vorliegt, die im wesentlichen zu Lasten der Stadtwerke Saarbrücken gehen dürfte.

Abb. 23: Das unterirdische Einzugsgebiet des Scheidtertals und Wieschbachtals mit den vorgeschlagenen, verbleibenden Gewinnungsgebieten.

Nach den Aufzeichnungen des Schreibpegels Schafbrücke, liegt für die Zeit von 1960 - 1967 ein mittlerer unterirdischer Abfluß von 10,55 l/s.km^2 vor (darin ist die gesamte Förderung im Scheidtertal mit enthalten). Für die Frage, wieviel Grundwasser in dem noch nicht überbeanspruchten Gewinnungsgebiet Scheidtertal an den Bach oder dessen Nebenbäche abgegeben wird, muß von den 10,55 l/s.km^2 die gesamte mittlere Förderung über die Jahre 1960 - 1967 von 17,4 Mio m^3/Jahr oder 7,5 l/s.km^2 abgezogen werden, sodaß der tatsächliche unterirdische Abfluß 3,05 l/s.km^2 beträgt. Aus der Differenz der optimal möglichen (730 l/s) und

der tatsächlichen Förderung (550 l/s) müßte sich ein unterirdischer Abfluß von 180 l/s oder 2,46 l/s.km^2 ergeben. Der Unterschied zwischen diesen beiden Werten (3,05 und 2,46 l/s.km^2) ist dadurch bedingt, daß 1 l/s.km^2 über das Quellstockwerk an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten abfließt und von der Förderung nicht erfaßt werden kann. - Die im Vergleich zu anderen Flüssen im mittleren Buntsandstein, niedrigen, mittleren Abflüsse des Scheidterbachs sind durch die Förderung bedingt, zumal der Grundwasserspiegel im Scheidtertal auf weite Strecken so stark abgesenkt ist, daß das zusitzende Sickerwasser in den Pumpmulden gespeichert werden kann.

Der Scheidterbach bildet heute nur noch im Raum St. Ingbert eine echte Vorflut für das Grundwasser. So liegt für das hydrologische Jahr 1966 der unterirdische Abfluß am Lattenpegel St. Ingbert bei 50 l/s (EINSELE, ARBAB, HEITELE, KLOCK & SELLER, 1968); an Abwässern fließen dem Scheidterbach, auf seinem Weg zum Schreibpegel Schafbrücke, 60 l/s aus dem Industriegebiet St. Ingbert - Rohrbach, 50 l/s aus der Stadt St. Ingbert, schätzungsweise 40 l/s aus den 4 Gemeinden südwestlich St. Ingbert und rund 55 l/s aus dem Quellstockwerk an der Grenze Trifels-/Rehbergschichten zu (zusammengenommen also 255 l/s). Nach den Aufzeichnungen am Schreibpegel Schafbrücke betrug der mittlere unterirdische Abfluß, im hydrologischen Jahr 1966 325 l/s.

Grundwassergewinnungsmöglichkeiten, zusätzlich zu den bestehenden Gewinnungsanlagen, bieten sich gegenwärtig im Spieser-Mühlengebiet und im Raum St. Ingbert - Rohrbach; ebenso können im Wieschbachtal noch kleinere Wassermengen erschlossen werden. - Da die noch erschließbaren Gewinnungsgebiete außerhalb der Bebauungsgebiete und sonstiger Verunreinigungsherde und nicht auf der Wasserscheide liegen sollten, um die natürlichen Verhältnisse beizubehalten, ist die Auswahl der Erschließungsgebiete gering (Abb. 23, Tab. 13). Um keine übertieften Pumpmulden beiderseits von Störungen zu erzeugen, ist die Belastbarkeit der Gewinnungsgebiete nach Teilbilanzen errechnet worden.

Die Gewinnungsgebiete 1 und 2 liegen entlang der Bahnlinie Saarbrücken - Homburg, zwischen der Bohrung Betzental und der Fa. PHB Heckel, und reichen von der Bohrung Betzental bis zum Umspannwerk an der Straße Rohrbach - St. Ingbert. Dieses Gebiet ist vorwiegend bewaldet und gegenwärtig frei von Bebauung und landwirt-

schaftlicher Nutzung. Die Trennung der Gewinnungsgebiete 1 und 2 (Abb. 23) ist nicht erforderlich.

Tab. 13: Die optimale Belastbarkeit der verbleibenden Gewinnungsgebiete im unterirdischen Einzugsgebiet des Scheidtertals und Wieschbachtals.

	Nr. des Gewinnungsgebiets (Abb. 23)	vorgeschlagene optimale Fördermenge in l/s
Scheidtertal	1 und 2	90 l/s
	3 und 4	76 l/s
Wieschbachtal	5	10 l/s

Gewinnungsgebiet 3 erstreckt sich entlang dem Scheidterbach, zwischen der Spick und der Bohrung St. Ingbert V und reicht bis zum Wombacher Weiher; das Einzugsgebiet ist frei von Bebauung, bewaldet und frei von landwirtschaftlicher Nutzung. Es sollte nicht mit mehr als 40 l/s (zusätzlich zu der bereits bestehenden Förderung) belastet werden. - Das Gewinnungsgebiet 4 liegt im Bereich des Schlosses Elsterstein.

Das Gewinnungsgebiet Wieschbachtal sollte nicht über den Bereich südwestlich des Bischmisheimer Grabens erweitert werden, da für diesen Bereich die Festlegung der Wasserschutzgebiete äußerst problematisch ist (SEILER, 1966, 1967). Erschließungsmöglichkeiten bestehen im Tiefental bis etwa zur Straße Bischmisheim - Breitenberg und im Wieschbachtal selbst bis zum Fahrweg Ensheim - Waldhaus (im Wieschbachtal).

Zusammenfassung

Im mittleren Buntsandstein des Saarlands muß für eine wirtschaftliche Grundwasserförderung das Kluftwasser aufgesucht werden. Der Porenraum des mittleren Buntsandsteins bildet einen ausgezeichneten Grundwasserspeicher, der jedoch keine tragbare Förderung zuließe; er wird von den Klüften drainiert. Aus dem Zusammenspiel der Fließvorgänge im Kluft- und Porenraum ergeben sich in Abhängigkeit von der Orientierung der Klüfte zu den Grundwassergleichen einige wichtige Besonderheiten für die Höhenlage der Ruhewasserstände der Brunnen, den Verlauf der Grundwasserstandsganglinien, der Form der Absenktrichter der Bohrungen, die Interpretation der Grundwassergleichenpläne und für die Lage der Wasserscheide in überbeanspruchten Gebieten.

Die spezifischen Ergiebigkeiten sind für $E > 0{,}5$ l/s.m in Tiefen zwischen 0 und 100 m Ausdruck der Kluftintensität. Für Fragen der Grundwasserzirkulation spielen die Klüfte i. allg. nur in Tiefen zwischen 0 und 100 m eine Rolle.

Durch die Anwendung von Uranin bei Verdünnungsversuchen können auf einfache Weise quantitative Aussagen über die "horizontalen" Filtergeschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen einer Beobachtungsbohrung gemacht werden. Demnach wird die Fließgeschwindigkeit am Grundwasserspiegel nur von der Fördermenge, nicht hingegen von der Tiefe der Förderbohrung beeinflußt. Mit steigender Förderung nimmt auch im "vollkommenen" Brunnen die Fließgeschwindigkeit zur Tiefe hin schneller zu als am Grundwasserspiegel. Die Verrohrung bringt im klüftigen Sandstein i. allg. keinen Schutz der Bohrung vor eindringendem Oberflächenwasser und beeinflußt im porösen Medium die Zuflußgeschwindigkeiten zur Förderbohrung kaum, sodaß mit einer Unterspülung der Verrohrung zu rechnen ist. Einige Untersuchungsergebnisse lassen vermuten, daß eventuell auch noch im Kluftraum mit laminarem Fließen zu rechnen ist.

Für das Arbeitsgebiet wurde eine geologische Übersichtskarte angefertigt, da entsprechende Unterlagen fehlten. Demnach liegt im mittleren Buntsandstein des Saarlands eine synsedimentäre Tektonik vor; der Saarbrücker Hauptsattel macht sich während der Sedimentation des mittleren Buntsandsteins als relatives Hebungsgebiet bemerkbar. Durch die Auskartierung einer Reihe neuer Störungen wird wahrscheinlich gemacht, daß der NW-Rand der Pfälzer Mulde im Bereich des Saarbrücker Hauptsattels staffelförmig zum Muldeninneren hin abbricht.

Tabelle: 1. Die spezifischen Ergiebigkeiten der Bohrungen im mittleren Buntsandstein des Saarlands südlich des Saarbrücker Sattels (nach den Unterlagen der Bohrfirmen)

A. Brunnen tiefer 100 m

spezifische Ergiebigkeiten in l/s.m (genauere Angaben finden sich hinter den Bohrungen in Klammern)

0,0 - 0,5	0,51 - 1,0	1,01 - 1,5	1,51 - 2,0
Aßweiler (0,29)	Bierbach (0,56)	Altheim (1,17)	Bruchhof IV (1,56) (Stadt Ottweiler)
Coca-Cola (0,42) (Saarbrücken)	Glycerinfabrik B 2 (Saarbrücken), (0,71)	Betzental (1,1), (St. Ingbert)	DB Rodenhof (1,64)
Dingler & Karcher (0,43), Saarbrücken	Grumbach 2 (0,84) (A.Brebach)	Bruchhof I (1,18) (Stadt Ottweiler)	Eisenwerk Homburg (1,82), Bezeichn. unbekannt
Emilienruhe (0,38)	Heckendalheim (0,58)	Bruchhof V (1,13) (Stadt Ottweiler)	Hadir (1,59, genaue Bezeichnung unbekannt
	Halberg (0,70),(Stadt Saarbrücken)		
Eschringen (0,42)	Holzhauerhaus (0,55) (Stadt Saarbrücken)	Drahtzugweiher (1,34) (Stadt Saarbrücken)	Homburg Hbf.(1,67)
Karlsbrunn 1 (0,40) (Saarbergwerke)			Homburg 5 (1,85) (Stadt Homburg)
Kleinblittersdorf (0,25), Sauerwies	Homburg 8 (0,61) (Stadt Homburg)	Fa. Fauser (1,16) (St. Ingbert)	Homburg 6 (1,97) (Stadt Homburg)
Kurz, Breitenberg (0,11)	Kleinblittersdorf (0,67), Bemmelwies	Hadir 2 (1,29) (St. Ingbert)	Homburg 7 (1,84) (Stadt Homburg)
Ormesheim 1 (0,38)	Leichenweihertal (0,97)	Hassel (1,33)	Karlsbergbrauerei 2 (1,72)
Ormesheim 2 (0,46)	Rentrisch-Mühlental (0,72)	Homburg 1 (1,46) (Stadt Homburg)	Karlsbrunn 4 (1,78) (Saarbergwerke)

Fortsetzung Tabelle: 1

spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m (genauere Angaben finden sich hinter den Bohrungen in Klammern)

0,0 - 0,5	0,51 - 1,0	1,01 - 1,5	1,51 - 2,0
Rastpfuhl, Krankenhaus (0,29)	Rentrisch Bohrung 1 (0,8)		Rohrbach 1 (1,78) (Saarbergwerke)
Selzer, Breitenberg (0,33)	Rentrisch Bohrung 2 (0,9)	Kasental (1,03) (Stadt Saarbrücken)	Würzbach 8 (1,83) (Saarbergwerke)
Sonneberg 2 (0,5)	Neugrabenweg Saarbrükken, DB, (1,0)	Karlsbergbrauerei (1,29) Bezeichnung unbekannt	
	Tiefental (0,72) (A.Brebach)	Neunkircher Eisenwerk, Homburg (1,34), Bezeichn. unbekannt	
	Winterberg (0,54) (Stadt Saarbrücken)	Rentrisch Bohrung 3 (1,05)	
	Waldhaus (0,64) (Stadt Saarbrücken)	Tabaksweiher (1,50) (Stadt Saarbrücken)	
	Sulzbach Bohrung 4 (0,88)	Webenheim (1,17)	
		Wieschbach 2 (1,17) (A.Brebach)	
		Papierfabrik Wörschweiler (1,28)	
		Würzbach 7 (1,26) (Saarbergwerke)	
		Saar-Ferngas, Homburg (1,33)	

Fortsetzung Tabelle: 1

spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m (genauere Angaben finden sich hinter den Bezeichnungen in Klammern)

2,01 - 2,5	2,51 - 3,0	3,01 - 3,5	3,51 - 4,0
Bruchhof XIII (2,46) (Stadt Ottweiler)	Bisttal 1 (2,66) (Saarbergwerke)	Bruchhof X (3,60) (Stadt Ottweiler)	Beeden 7 (3,71)
Ensheim 1 (2,40)	Ensheim 2 (2,96)	Hufe 8 (3,25) (Stadt Völklingen)	Beeden 8 (3,80)
Homburg 3 (2,36) (Stadt Homburg)	Homburg 2 (2,30) (Stadt Homburg)	Hufe 9 (3,39) (Stadt Völklingen)	
Hufe 3 (2,29) (Stadt Völklingen)	Hufe 2 (2,75) (Stadt Völklingen)	Rentrisch Brunnen 1 (3,3) (Stadt Saarbrücken)	
Krughütte (2,44)	Hufe 6 (2,6) (Stadt Völklingen)	Rohrbach 2 (3,24) (Saarbergwerke)	
Limbach 4(2,46) (Neunkirchen)	Hufe 7 (2,66) (Stadt Völklingen)		
Neunkircher Eisenwerk Homburg (2,02), Bezeichnung unbekannt	Karlsbergbrauerei 3 (2,88)		
Rentrisch Bohrung 7 (2,19),(Stadt Saarbr.)	St. Ingbert 1 (2,67) (Stadt St.Ingbert)		
Rohrbach 3 (2,02) (Saarbergwerke)	Wieschbach 4 (2,53) (A.Brebach)		
Schwinn, Homburg (2,05)			
St. Ingbert A (2,41) (Stadt St. Ingbert)			
Sulzbach Bohrung 5 (2,33)			
Sulzbach Bohrung 5a (2,07)			

Fortsetzung Tabelle: 1

spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m (genauere Angaben in Klammern)

4,01 - 4,5	4,51 - 5,0	5,01 - 5,5	5,51 - 6,0
Bisttal 7 (4,34) (Saarbergwerke)	Bisttal 5 (4,61) (Saarbergwerke)	Homburg, Rennbahn (5,25) (Stadt Homburg)	Limbach 5 (5,85) (Stadt Neunkirchen)
Hufe 1 (4,24) (Stadt Völklingen)	Limbach 2 (4,58) (Stadt Neunkirchen)	Ixheim 6 (5,34) (Stadt Zweibrücken)	
	Würzbachtal 10 (4,56) (Saarbergwerke)	Limbach 1 (5,25) (Stadt Neunkirchen)	

6,01 - 6,5	6,51 - 7,0	7,01 - 7,5	7,51 - 8,0
Limbach 6 (6,1) (Stadt Neunkirchen)		Bisttal 2 (7,5) (Saarbergwerke)	Linslerhof 1 (7,7)
		Ixheim 5 (7,3) (Stadt Zweibrücken)	Vogelsang, Homburg (8,0)
		Schwimmbad Blieskastel (7,2)	

8,01 - 8,5	8,51 - 9,0	9,01 - 9,5	9,51 - 10,0
Limbach 3 (8,1) (Stadt Neunkirchen)	Beeden 9 (9,0) (Saarbergwerke)		
	Beeden 10 (8,75) (Saarbergwerke)		
	Glashütte III (8,67) (Saarbergwerke)		
	Mutterbach 7 (8,4) (Stadt Neunkirchen)		

Fortsetzung Tabelle: 1

spezifische Ergiebigkeiten größer als 10,01 l/s·m

Beeden 1 (14,4) (Saarbergwerke)	Kirrberg (11,6)	Limbach 7 (11,5) (Stadt Neunkirchen)	Vogelsang, Blieskastel (11,9)
Krempel, Homburg (10,0)	Limbach (19,5) (Stadt Neunkirchen)	Limbach 8 (13,0) (Stadt Neunkirchen)	

B. Brunnen mit Tiefen zwischen 0 und 100 m; Teufenangaben hinter den Bezeichnungen der Bohrungen

Spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m (genauere Angaben in Klammern)

0,0 - 0,5	0,51 - 1,0	1,01 - 1,5	1,51 - 2,0
Angelsportverein Saarbrücken, 21 m (0,37)	Bexbach, Probebohrung 1 58 m (0,56)	Altheim, 60 m (1,2)	Bexbach, Probebohg.2 4 Ø m (1,65)
Bexbach 1, 59 m (0,45)	Bexbach, Probebohrung 2 57 (0,95)	Bexbach 3, 72 m (1,24)	Brauerei Becker, ? m (1,99)
DB Bohrung 1 a, Saarbrücken, 49 m, (0,32)	DB, Wasserturm Saarbrükken, 5 0 m, (0,68)	Breithof bei Dudweiler, 60 m (1,21)	Dudweiler 1, 60 m (1,56)
DB Bohrung 2, Saarbrükken, 80 m (0,38)	DB, Bohrung 3, Saarbrücken 62 m (0,79)	Dudweiler, Wasserwerk, 36 m (1,08)	Dudweiler 7, 80 m (1,85)
Friedrichstal 5, 60 m Saarbergwerke (0,28)	Fordwerke 3, 87 m (Ø,9)	Erhard & Sehmer, 33 m (1,2)	Halberghof, 90 m (2,0)
Dingler & Karcher, 50 m (0,46)	Fa. Heckel, Rohrbach, (80 m) (0,55)	Fordwerke 1;80 m (1,25)	Jägersburg 1, 73 m(1,83)
Grässer & Müller, 44 m (0,19)	Homburg, Landratsamt, 40 m (0,61)	Fordwerke 2;70 m (1,16)	Linslerhof, 30 m (1,52)
Klarental, 32 m (0,09)	Lambsborn, 56 m (0,89)	Fa. Jäckle, St. Ingbert 40 m (1,46)	Spieser Mühle II, 80 m (1,8), Saarbergwerke
Postamt Saarbr., 40 m (0,3)	Ludwigspark, Saarbr.,60 m (0,77)	Mittelbexbach, 74 m (1,1)	
Vogelsang, Homburg, 50 m (0,08)		Mockental II, Stadt Saarbrücken, 50 m (1,07)	

Fortsetzung Tabelle: 1

Spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m (genauere Angaben in Klammern)

0,0 - 0,5	0,51 - 1,0	1,01 - 1,5	1,51 - 2,0
Ruderklub Saar, Saarbrücken, 30 m (0,35)	Peco, Saarbrücken, 70 m, (1,0)	Rohrbach, Wasserwerk, 67 m (1,25)	
Schmollerb., 50 m (0,32)	Sehn, St. Ingbert, (0,68)	Saar-Ferngas, Homburg 50 m (1,16)	
St. Ingbert k 1, 35 m (0,36)	Sonnenberg 1, 60 m (0,64)		
	Werbeln, 75 m (0,92)		
	Unisa, Saarbrücken, 60 m (0,54)		
	Spieser Mühle III, 80 m (0,77), (Saarbergwerke)		

2,01 - 2,5	2,51 - 3,0	3,01 - 3,5	3,51 - 4,0
Dudweiler 3, 63 m (2,08)	Bisten 2, 40 m (3,0)	Schwimmbad Limbach, 40 m (3,37)	
Ensdorf 1, 64 m (2,41)	Völklingen Bohrung 1, 60 m (3,0)		
Ensdorf 2, 57 m (2,1)			
Schneiderwerke, St. Ingbert, 80 m (2,23)			
St. Ingbert 5, 75 m (2,18), (Stadt St,Ingbert)			

Brunnen mit spezifischen Ergiebigkeiten über 4,01 l/s·m

Battweiler, 50 m (5,3)
Bexbach 4, 63 m (4,9)
Dudweiler II, 50 m(10,7)
Glashütte I, 72 m(5,05)
St. Ingbert II, 86 m (5,54), Stadt St. Ingbert
Grumbach 1, 80 m (4,64)
Hadir 1, 70 m (18,4)
Rohrbachl, 71 m (13,25) (Saarbergwerke)
Bisten 2, 40 m (4,5)

Tabelle: 2 Zur Änderung der spezifischen Ergiebigkeiten mit fortschreitender Bohrlochtiefe

spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m in den Teufenbereichen (genaue Teufenangabe in Klammern)

Bohrung	0 - 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m
Neunkircher Eisenwerk (1961)			1,83 (150 m)	2,02 (200 m)		
Karlsberg brauerei (1965)		0,75 (100 m)	1,07 (146 m)		1,29 (206 m)	
Karlsberg brauerei 2			1,29 (146 m)	1,72 (200 m)		
Hofgut Emilienruh		0,20 (70 m) 0,30 (87 m) 0,38 (100 m)				
Homburg 4 (Stadtwerke)		1,35 (100 m)	1,88 (150 m)	1,85 (200 m)		
Homburg 5 (Stadtwerke)		3,00 (100 m)	3,40 (150 m)		2,67 (205 m) 2,07 (250 m)	
Papierfabrik Wörschweiler				1,12 (180 m)	1,28 (250 m)	
Webenheim Molkerei, 1959		0,58 (7 Øm) 1,17 (100 m)				
Altheim, 1941		0,36 (60 m) 1,17 (87 m)				
Beeden 1 (Saarbergwerke)	11,45 (50m)	14,4 (90 m) 14,9 (100 m)				
Beeden 8 (Saarbergwerke)	0,87 (29 m) 1,62 (50 m)	2,44 (70 m) 3,75 (90 m)	3,94 (110 m) 3,67 (130 m)			
Limbach 5 (Neunkirchen)			5,86 (115 m)	5,75 (193 m)		
Limbach 4 (Neunkirchen)			2,46 (110 m) 2,46 (140 m)			

Fortsetzung Tabelle:2

spezifische Ergiebigkeiten in l/s·m in den Teufenbereichen (genaue Teufenangabe in Klammern)

Bohrung	0 - 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m
Wellesweiler 7 (Neunkirchen)	4,00 (30 m)	6,10 (60 m) 8,00 (90 m)	7,7Ø (120 m)			
Rohrbach 2 (Saarbergwerke)		1,76 (70 m) 3,42 (100m)				
Aßweiler, Gemeindebohrung		0,20 (100m)	0,28 (120 m) 0,29 (130 m)			
Betzental (Stadtwerke St.Ingbert)			1,05 (120 m)		1,10 (220 m)	
Holzhauerhaus (Stadt Saarbrücken)			0,45 (125 m) 0,55 (150 m)	0,56 (161 m)		
Halberg (Stadt Saarbrücken)			0,50 (132 m)	0,60 (200 m)	0,70 (250 m)	0,70 (281m)
Drahtzugweiher (Stadt Saarbrücken)			1,37 (120 m)	1,34 (151 m)		
Tiefental (Amtswerke Brebach)		0,71 (100 m)	0,73 (137 m)			
Wieschbach 2 (Amtswerke Brebach)			1,29 (125 m) 1,17 (142 m)			
Karlsbrunn 1 (Saarbergwerke)		0,37 (100 m)	0,40 (150 m)			
Karlsbrunn 4 (Saarbergwerke)			1,43 (110 m)		1,78 (240 m)	
Bisttal 6 (Saarbergwerke)	0,48 (39 m)	7,50 (100 m)				
Bisttal 7 (Saarbergwerke)		4,73 (78 m) 4,45 (100 m)				
Bisttal 11 (Saarbergwerke)	0,48 (39 m)	6,25 (100 m)				
Bisttal ?, 1958						

Tabelle 14: Bei den Verdünnungsversuchen ermittelte Uraninkonzentrationen in dem Wassergewinnungsgebiet Wellesweiler der Stadtwerke Neunkirchen.

A. Verdünnungsversuche in den Beobachtungsbohrungen B 19 und PB 1, um die Förderbohrung B 4 (vgl. Abb. 16). Die Entnahmeteufe von 10 m in Bohrung 19 entspricht einer Höhe von 233,6 m ü.NN und in PB 1 einer Höhe von 235,1 m ü.NN.

Zeit in Stunden	Uraninkonzentrationen in kg/l in B 19 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m	30 m	Zeit in Stunden	Uraninkonzentrationen in kg/l in PB 1 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m	30 m
			ohne Förderung in B 4				
0	$6{,}1\ 10^{-6}$	$3{,}2\ 10^{-6}$	$3{,}3\ 10^{-6}$	0	$5{,}8\ 10^{-5}$	$1{,}7\ 10^{-5}$	$1{,}5\ 10^{-5}$
17,5	$4{,}1\ 10^{-6}$	$3{,}0\ 10^{-6}$	$2{,}2\ 10^{-6}$				
24,25	$3{,}9\ 10^{-6}$	$2{,}7\ 10^{-6}$	$2{,}1\ 10^{-6}$	24,5	$2{,}3\ 10^{-5}$	$1{,}7\ 10^{-5}$	$5{,}8\ 10^{-6}$
43,5	$3{,}1\ 10^{-6}$	$2{,}0\ 10^{-6}$	$1{,}8\ 10^{-6}$	43,5	$8{,}4\ 10^{-6}$	$1{,}3\ 10^{-7}$	$2{,}2\ 10^{-6}$
			B 4 30 m tief; Förderung in B 4 3,2 l/s, Absenkung 17,00 m (= 225,9 m ü.NN)				
0	$1{,}2\ 10^{-5}$	$3{,}4\ 10^{-5}$	$4{,}3\ 10^{-6}$	0	$1{,}8\ 10^{-4}$	$6{,}4\ 10^{-5}$	$5{,}5\ 10^{-5}$
17,25	$3{,}0\ 10^{-6}$	$1{,}2\ 10^{-6}$	$2{,}7\ 10^{-6}$	14,0	$7{,}2\ 10^{-5}$	$2{,}6\ 10^{-5}$	$2{,}7\ 10^{-5}$
22,5	$2{,}7\ 10^{-6}$	$4{,}0\ 10^{-6}$	$1{,}6\ 10^{-6}$	17,25	$5{,}5\ 10^{-5}$	-	-
37,75	$1{,}2\ 10^{-6}$	$4{,}2\ 10^{-7}$	$1{,}0\ 10^{-6}$	22,5	$1{,}3\ 10^{-5}$	$2{,}1\ 10^{-5}$	$1{,}9\ 10^{-5}$
				37,75	-	$4{,}9\ 10^{-6}$	$7{,}6\ 10^{-6}$
			B 4 60 m tief; Förderung in B 4 7,8 l/s, Absenkung 15,26 m(= 227,7 m ü.NN).				

Fortsetzung Tabelle: 14

Zeit in Stunden	Uraninkonzentrationen in kg/l in B 19 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m	30 m	Zeit in Stunden	Uraninkonzentrationen in kg/l in PB 1 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m	30 m
			B 4 62 m tief; Förderung in B 4 5,0 l/s; Absenkung 14,20 m (= 226,8 m ü.NN).				
0	$1{,}5\ 10^{-5}$	$8{,}3\ 10^{-6}$	$7{,}0\ 10^{-6}$	0	$3{,}4\ 10^{-4}$	$4{,}6\ 10^{-5}$	$1{,}9\ 10^{-5}$
14,5	$3{,}1\ 10^{-6}$	$4{,}0\ 10^{-6}$	$3{,}6\ 10^{-6}$	14,5	$1{,}8\ 10^{-5}$	$3{,}9\ 10^{-5}$	$1{,}2\ 10^{-5}$
41,5	$1{,}0\ 10^{-6}$	$1{,}7\ 10^{-6}$	$6{,}4\ 10^{-7}$	40,5	$2{,}0\ 10^{-6}$	$6{,}0\ 10^{-6}$	$3{,}4\ 10^{-6}$
			B 4 62 m tief; Förderung in B 4 10 l/s; Absenkung 24,93 m (= 218,0 m ü.NN).				
0	$1{,}1\ 10^{-6}$	$1{,}1\ 10^{-6}$	$3{,}2\ 10^{-7}$	0	$2{,}4\ 10^{-6}$	$1{,}6\ 10^{-6}$	$1{,}9\ 10^{-6}$
15,0	$1{,}1\ 10^{-7}$	$8{,}6\ 10^{-8}$	$8{,}6\ 10^{-8}$	14,75	$5{,}1\ 10^{-7}$	$4{,}4\ 10^{-7}$	$7{,}2\ 10^{-7}$
-	-	-	-	19,75	$3{,}5\ 10^{-7}$	$2{,}5\ 10^{-7}$	$6{,}4\ 10^{-7}$

B. Verdünnungsversuche in den Beobachtungsbohrungen PB 2, PB 3 und PB 4, um die Förderbohrung B 7 (vgl. Abb. 16). Die Entnahmeteufe von 10 m in PB 2 entspricht einer Höhe von 236,6 m ü. NN; in PB 3 und PB 4 wurden die Proben an der Grundwasserspiegeloberfläche entnommen.

ohne Förderung in B 7

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l in PB 2 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m
0	$2{,}6\ 10^{-5}$	$2{,}0\ 10^{-5}$
120	$5{,}0\ 10^{-6}$	$4{,}6\ 10^{-6}$
300	$9{,}8\ 10^{-7}$	$4{,}6\ 10^{-7}$

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l in PB 3 an der Grundwasserspiegeloberfläche			
4	$3{,}3\ 10^{-6}$	12	$8{,}4\ 10^{-7}$	
6	$2{,}8\ 10^{-6}$	16	$8{,}0\ 10^{-7}$	
8	$1{,}6\ 10^{-6}$	20	$8{,}2\ 10^{-7}$	
10	$1{,}1\ 10^{-6}$			

Fortsetzung Tabelle:14

Förderung in B 7 l/s; Absenkung m (= m ü.NN)

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l in PB 2 in der Entnahmeteufe von 10 m	20 m
0	$2{,}7\ 10^{-5}$	$5{,}8\ 10^{-6}$
90	$6{,}6\ 10^{-6}$	$7{,}0\ 10^{-7}$
140	$2{,}0\ 10^{-6}$	$2{,}0\ 10^{-7}$

Förderung in B 7 l/s; Absenkung m (= m ü.NN)

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l in PB 4 an der Grundwasseroberfläche
4	$5{,}6\ 10^{-7}$
6	$3{,}2\ 10^{-7}$
8	$3{,}1\ 10^{-7}$
10	$2{,}9\ 10^{-7}$
14	$2{,}4\ 10^{-7}$

Förderung in B 7 l/s; Absenkung m (= m ü.NN).

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l an Wasseroberfl.	Zeit in Minuten	Uraninkonz. kg/l an Wasseroberfläche
1	$1{,}2\ 10^{-5}$	4	$1{,}5\ 10^{-6}$
2	$5{,}0\ 10^{-6}$	6	$1{,}1\ 10^{-6}$
4	$1{,}5\ 10^{-6}$		
6	$1{,}1\ 10^{-}$		

Förderung in B 7 l/s; Absenkung m (= m ü.NN)

Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l an Wasseroberfl.	Zeit in Minuten	Uraninkonz. in kg/l an Wasseroberfläche
2	$1{,}3\ 10^{-5}$	8	$1{,}8\ 10^{-6}$
4	$2{,}3\ 10^{-6}$	10	$1{,}6\ 10^{-6}$
6	$2{,}0\ 10^{-6}$	12	$1{,}1\ 10^{-6}$

Literaturverzeichnis

ANDREAE, H.: Neue hydrometrische Verfahren. - VEB deutsch. Verlag Wissensch., Berlin 1963

BECKSMANN, E.: Grundwasserchemismus und Speichergestein. - Z. deutsch. geol. Ges., 106, Hannover 1954.

DOROWCZYK, M., MAIRHOFER, J., ZUBER, A.: Labratory investigations on the determination of filtration velocity by means of Radioisotopes. - Atomkernenergie, H. 1/2, S.51-56, München 1965.

BOZORGZAD-ARBAB, D.C.: Versickerung in Lysimetern und auf "Inseln" aus oberem Buntsandstein im Saarland,- Diss. Univers. Tübingen, Tübingen 1968.

CARLE, W.: Bau und Entwicklung der südwestdeutschen Großscholle. - Beih. geol. Jahrb., H. 16, Hannover 1955.

DACHROTH, W.: Geologische Karte 1: 25 000; Blatt Blieskastel (6709) Unveröffentlichte Kartierung der Universität Saarbrücken, Saarbrücken 1965.

DACHROTH, W.: Stratigraphie und Tektonik im Hauptbuntsandstein des östlichen Saarlands. - An. Univers. Sarav., H. 5, S. 173-219, Saarbrücken 1967.

DAHMS, E.: Geologische Untersuchungen im Muschelkalk des östlichen Bliesgaus. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FU Berlin, Berlin 1965.

DAVIS, S.N., WIEST de, R.J.: Hydrogeology. - John Wiley & Sons, Inc., New York - London - Sidney 1966.

DRUM, R.: Geologische Studien und Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse auf dem Nordflügel der pfälzer Triasmulde zwischen Saarbrücken, Saargemünd und Kaiserslautern. - Mitt. Pollichia, N.F., X, S. 5 - 68, Kaiserslautern 1942.

EISSELE, K.: Über Grundwasserbewegung im klüftigen Sandstein. - J. geol. L.-Amt Baden-Württemberg, 8, S. 105-112, Freiburg 1966.

EINSELE, G.: Stellungnahme zum Antrag der Stadt Neunkirchen vom 8.9.1965 auf Bewilligung von drei neuen Wasserbohrungen im Mutterbachtal. - Unveröffentlichtes Gutachten des geol. Inst. Univers. Tübingen, Tübingen 1966.

EINSELE, G.: Hydrogeologische Begutachtung zum Schutz des Grundwassers im Wieschbachtal (Wasserwerk Brebach). - Unveröffentlichtes Gutachten des geol. Inst. Univers. Tübingen, Tübingen 1966.

EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAB, D.C., HEITELE, H., KLOCK, A. & SEILER, K.-P.: Geohydrologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Allgemeiner Teil. Neubildung und Speicherung von Grundwasser.- Unveröffentl. Arbeit des Geol. Inst. Univers. Tübingen, 121 Seiten, Tübingen 1968.

ENGELHARDT v., W., PITTNER, H.: Über die Zusammenhänge zwischen Porosität, Permeabilität und Korngrößen bei Sanden und Sandsteinen. - Heidelberger Beitr. Min. Petrogr., 4, 2, Heidelberg 1951.

ENGELHARDT v., W.: Der Porenraum der Sedimente. - Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960.

HAGEN, D.: Der Muschelkalk im nördlichen Bliesgau. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FU Berlin, Berlin 1964.

HEITELE, H.: Versickerungsvorgänge in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. - Diss. Univers. Tübingen, Tübingen 1968.

HEITFELD, K.-H.: Hydro- und Baugeologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergrunds an Talsperren des Sauerlands. - Geol. Mitt., 5, H. 1-2, S. 1-210, Aachen 1965.

HEIZMANN, G.: Welche geologischen Bedingungen sind bei der Festlegung von Trinkwasserschutzgebieten im Buntsandstein des Saarlands zu berücksichtigen? - Unveröffentlichte häusliche Prüfungsarb. geol. L.-Amt d. Saarlands, Ensheim 1965.

KASS, W.: Die unmittelbare Bestimmung von Uranin-Spuren bei Färbversuchen. - Steir. Beitr. Hydrogeol., N.F., 1963/64, S. 37-66, Graz 1964.

KEILHACK, K.: Die Grundwasserverhältnisse der Umgebung von Saarbrücken und die zukünftige Wasserversorgung der Stadt. - Z. deutsch. geol. Ges., 85, S. 412 - 423, Berlin 1933.

KLOCK, M.: Chemismus der Grundwässer im saarländischen Buntsandstein und seinen Randgebieten (mit einem Abschnitt über Verdunstung und Grundwasserspiegelschwankungen). - Diss. Univers. Tübingen, Tübingen 1968.

LIENEMANN, H.H.: Technische Ausarbeitung zur großen Staatsprüfung.- Unveröffentlichtes Manuskript, 1967, eingesehen bei den Saarbergwerken.

MAIRHOFER, J.: Grundwasseruntersuchungen mit Hilfe radioaktiver Methoden. - Steir. Beitr. Hydrogeol., N.F.,1963/63, S. 67-74, Graz 1964.

MAIRHOFER, J., ZOJER, O.: Untersuchungen an einem Horizontalfilterbrunnen mittels radioaktiver Isotope. - Die Wasserwirtschaft, 57, H. 5, Stuttgart 1967.

MATTHESS, G., THEWS, J.D.: Der Abflußzuwachs bei der Beurteilung von Wassererschließungsmöglichkeiten. - Notizbl. Hess. L.-Amt. Bodenforsch., 91, S. 231 - 236, Wiesbaden 1963.

MATTHESS, G., SCHMITT, O.: Ein Färbversuch im Buntsandstein des Odenwalds. - Steir. Beitr. Hydrogeol., N.F.,1966/67, S. 227 - 230, Graz 1967.

MÜLLER, E.M.: Beiträge zur Kenntnis der Stratigraphie und Paläogeographie des Oberen Buntsandsteins im Saar - Lothringischen Raum. - An. Univers. Sarav., H. 3, S. 176 - 201, Saarbrücken 1954.

NAHRGANG, G.: Zur Theorie des vollkommenen und unvollkommenen Brunnens. - Verlag Springer, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1954.

NATERMANN, E.: Die Linie des langjährigen Grundwassers und der Trockenwetterabflußlinien (TWL). - Die Wasserwirtschaft, 41, Sonderh.: Vorträge Tagung gewässerk. Anst. am 13./14.9.1950 in München, S. 12 - 14, Stuttgart 1951.

NORING, F.; LATTHESS, G., THEIS, J.D.: Die hydrogeologische Feldkartierung. - I.A.H.-Kongress, VII, S 240-244, Hannover 1967.

PRINZ, E.: Handbuch der Hydrologie, - Verlag Springer, Berlin 1923.

RASENBERGER, G.: Ausbildung und Lagerungsverhältnisse des Muschelkalks im östlichen Bliesgau und im benachbarten Westrich. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FU Berlin, Berlin 1964.

SCHIMAZEK, J.: Der Muschelkalk des westlichen Bliesgaues. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FU Berlin, Berlin 1963.

SCHNEIDER, H., TRUELSEN, C.: Geohydrologische Grundlagen und Bau von Wasserfassungen. Teil I, Die Wassererschließung. Vulkanverlag, Essen 1952.

SCHÖMER, R.: Einiges über die geologisch-hydrologischen Verhältnisse des Wasserwerks Bous. - An. Univers. Sarav., H. 4, S. 93 - 99, Saarbrücken 1955.

SCHULZ, G.: Färb- und Salzungsversuche an unterirdischen Wässern in Südwestdeutschland. - Geol. L.-Amt Baden-Württemberg, 2, S. 333-412, Freiburg 1957.

SEILER, K.-P.: Kombinierter Salzungs- und Färbeversuch im Bereich der Bohrung 4 des Wasserwerks Wieschbachtal. - Unveröffentl. Gutachten, Geol. Inst. Univers. Tübingen, Tübingen 1966.

SEILER, K.-P.: Abschließende Stellungnahme zur Frage der Versikkerung des Wieschbachs im Bereich der Wasserfassungen der Amtswerke Brebach. - Unveröffentl. Gutachten Geol. Inst. Univers. Tübingen, Tübingen 1967.

SEMMLER, W.: Quellen und Grundwasser im Deckgebirge des Saarbrücker Steinkohlengebirges. - Z. Berg-, Hütten-, und Salinenwesen Deutsch. Reich, 88, S. 247-271, Berlin 1940.

SEMMLER, W.: Die geologisch-hydrologischen Grundlagen der Wasserversorgung des Saarlands. - Z. deutsch. geol. Ges., 106, S. 131 - 168, Hannover 1954.

SIMLER, L.: Hydrologische und wasserwirtschaftliche Aspekte des Wasserproblems im Elsaß. - Gas- und Wasserfach, 106, H. 30, Hannover 1965.

SPECHT, R.: Das Pegnitzgebiet in Bezug auf seinen Wasserhaushalt.- Abh. bayr. Hydrotech. Büro, München 1912.

THIELE, S.: Geohydrologische Begutachtung der Grundwasservorkommen im Raum St. Ingbert.- Unveröffentl. Gutachten des Ing.-Büros Dr. Waschek, Günzburg 1965 (1965a).

THIELE, S.: Geohydrologische Begutachtung der Grundwasservorkommen im Scheidtertal, ostwärts Saarbrücken. - Unveröffentl. Gutachten des Ing.-Büros Dr. Waschek, Günzburg 1965 (1965b).

TODD, D.K.: Groundwater Hydrology. - John Wiley & Sons, Inc., New York - London - Sidney 1959.

UBELL, K.: Stress distribution and groundwater movement in loose sedimentary rocks. - Vortragsmanuskript der internat. hydrolog. Tagung in Hannover, 1965.

WEBER, K.: Der Muschelkalk des westlichen Bliesgaues. - Unveröffentl. Diplomarbeit an der TU Berlin, Berlin 1962/63.

WETTIG, E.: Der Muschelkalk des nordwestlichen Bliesgaues. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der TU Berlin, Berlin 1964.

WORF, H.: Hydrologische Untersuchungen im Warndt, - Unveröffentlichte Inauguraldiss. Univers. Saarbrücken, Saarbrücken 1962.

Lebenslauf

Am 1.11.1940 wurde ich, Klaus-Peter Wilhelm Hans Robert Seiler, in Darmstadt als Sohn des Majors und Tierarztes Dr. Heinz Seiler und seiner Ehefrau Ina Margot geb. Keysser als erstes von zwei Kindern geboren. In Darmstadt besuchte ich die Volksschule und in Biberach/Riß das Wieland-Gymnasium. Meine Schulzeit beendete ich 1960 mit der Reifeprüfung und begann anschließend mit dem Studium der Geologie an der Universität Tübingen. Nach dem Vordiplom studierte ich ein Jahr an der Universität Göttingen und schloß mein Studium im Sommer 1965 an der Universität Tübingen mit der Diplomprüfung ab. -
Im Sommer 1967 habe ich Fräulein Renate Helga Penning geheiratet; aus dieser Ehe stammt mein Sohn Christian Seiler.

Meine akademischen Lehrer waren in Tübingen die Herren Prof. Dr. v. ENGELHARDT, Prof. Dr. EINSELE, Prof. Dr.SCHINDEWOLF, Prof. Dr. SCHÖNENBERG, Prof. Dr. SEILACHER, Prof. Dr. WAGNER und in Göttingen die Herren Prof. Dr. BEDERKE, Prof. Dr. CORRENS, Prof. Dr. SCHOTT, Prof. Dr. WINKLER.